



Evolution und Menschwerdung

Nova Acta Leopoldina
Band 93 Nummer 345

Vorträge
anlässlich der Jahresversammlung
vom 7. bis 9. Oktober 2005
zu Halle (Saale)

Herausgegeben von
Harald zur Hausen, Heidelberg
Vizepräsident der Akademie



Evolution und Menschwerdung gehören zu den faszinierendsten Gegenständen der Wissenschaft.

Der *Nautilus* (hier ein Schnitt), ein Kopffüßer (Cephalopode), der ein kalkiges Außenskelett besitzt, gehört zu einer uralten Tiergruppe, deren erste Vertreter schon gegen Ende des Kambriums, also vor über einer halben Milliarde Jahren, in den damaligen Meeren auftauchten. Die Gattung *Nautilus* reicht mindestens bis ins späte Eozän (ca. 38 Millionen Jahre) zurück, vermutlich aber sogar bis in die Kreide (mindestens 80 Millionen Jahre). Während die meisten Arten und Gattungen eine Lebensdauer von nur wenigen Jahrmillionen haben, gibt es einige „lebende Fossilien“ wie *Nautilus*, die eine erheblich größere Lebensdauer besitzen und als einzige von einer ehemals großen Anzahl Taxa übriggeblieben sind. Sie sind damit besonders wertvolle Zeugen der langen Evolutionsgeschichte.

Die Venus von Willendorf ist wiederum Zeuge eines ganz anderen Abschnitts der Evolutionsgeschichte. Sie steht für den komplizierten Prozeß der Entwicklung zum Menschen, der neben den biologischen Voraussetzungen vor allem durch die Herausbildung von Kultur und Kunst gekennzeichnet ist. Sie ist wahrscheinlich Österreichs bekanntestes Fundstück aus der jüngeren Altsteinzeit (Jungpaläolithikum). Die Skulptur entstand etwa um 25 000 vor Christus und dürfte ein Fruchtbarkeitssymbol darstellen. Die Venus von Willendorf wurde 1908 beim Bau der Donauuferbahn in Willendorf in der Wachau gefunden und ist heute im Naturhistorischen Museum Wien zu sehen.



Das Auditorium zur Jahresversammlung „Evolution und Menschwerdung“ 2005 im Tagungsgebäude Kempinski Kongress & Kultur Halle

NOVA ACTA LEOPOLDINA

Abhandlungen der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina

Im Auftrage des Präsidiums herausgegeben von

HARALD ZUR HAUSEN

Vizepräsident der Akademie

NEUE FOLGE

NUMMER 345

BAND 93

Evolution und Menschwerdung

Vorträge anlässlich der Jahresversammlung
vom 7. bis 9. Oktober 2005
zu Halle (Saale)

Herausgegeben von:
HARALD ZUR HAUSEN, Heidelberg
Vizepräsident der Akademie

Mit 65 Abbildungen und 3 Tabellen



Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, Halle (Saale) 2006
In Kommission bei Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart

Redaktion: Dr. Michael KAASCH und Dr. Joachim KAASCH
Fotos von der Jahresversammlung „Evolution und Menschwerdung“: Jens SCHLÜTER (Halle/Saale)

Auf der Titelseite des Bandes ist das Siegel der Urkunde abgebildet, mit dem Kaiser LEOPOLD I. 1687 die der Akademie verliehenen Privilegien erneut bestätigt hat. Siegel und Urkunde befinden sich noch im Besitz der Leopoldina.

**Die Schriftenreihe Nova Acta Leopoldina erscheint bei der Wissenschaftlichen Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, Birkenwaldstraße 44, 70191 Stuttgart, Bundesrepublik Deutschland.
Jedes Heft ist einzeln käuflich!**

Die Schriftenreihe wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie das Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt.

Wir danken der Alfried Krupp von Bohlen und Halbach-Stiftung für die finanzielle Unterstützung der Veranstaltung.

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdruckes, der fotomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung, vorbehalten.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen und dgl. in diesem Band berechtigt nicht zu der Annahme, daß solche Namen ohne weiteres von jedermann benutzt werden dürfen. Vielmehr handelt es sich häufig um gesetzlich geschützte eingetragene Warenzeichen, auch wenn sie nicht eigens als solche gekennzeichnet sind.

© 2006 Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V.
06019 Halle (Saale), Postfach 11 05 43, Tel. (03 45) 4 72 39 34
Hausadresse: 06108 Halle (Saale), Emil-Abderhalden-Straße 37
Herausgeber: Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Harald ZUR HAUSEN, Vizepräsident der Akademie
Printed in Germany 2006
Gesamtherstellung: Elbe-Druckerei Wittenberg
ISBN-13: 978-3-8047-2370-2
ISSN 0369-5034

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

Inhalt

TER MEULEN, Volker: Vorwort	7
GEHRKE, Hans-Joachim: Animal sociale. Menschwerdung und Gemeinschaftsbildung – Die Sicht eines Historikers	9
BENDER, Ralf: Vom Urknall bis zur Bildung von Planetensystemen	33
WÄCHTERSCHÄUSER, Günter: Entstehung des Lebens in einer vulkanischen Eisen-Nickel-Schwefel-Welt	51
ARBER, Werner: Molekulare Basis der biologischen Evolution	69
MAIER, Uwe G.: Vom Prokaryoten zum Eukaryoten	85
RATNIEKS, Francis L. W.: Can Humans Learn from Insect Societies?	97
OSCHMANN, Wolfgang: Evolution und Sterben der Dinosaurier	117
TATTERSALL, Ian: Patterns of Innovation in Human Evolution.	145
HURFORD, James R.: Das Sprachmosaik und seine Evolution	159
ASSMANN, Jan: Evolution durch Schrift	181
BREDEKAMP, Horst: Bilder in Evolution und Evolutionstheorie.	195
FREVERT, Ute: Rituale, Kultur und sozialer Wandel	217
WILSON, David Sloan: Auf dem Prüfstand: Schlüsselhypothesen zur Evolution von Religion in einer Stichprobe	229
MEIER, Christian: Griechische Anfänge von Wissenschaft	259
KAASCH, Michael, und KAASCH, Joachim: „Beeinflussung der Evolution durch den Menschen“. Bericht über die Podiumsdiskussion	275

Vorwort

„Evolution und Menschwerdung“ gehören noch immer zu den interessantesten Themen, mit denen sich die Naturwissenschaft auseinandersetzt. Es handelt sich um ein Problem, das auch die Öffentlichkeit fasziniert und das eine interdisziplinäre Behandlung verlangt, für die eine Akademie wie die Leopoldina prädestiniert ist. Daher griff die Leopoldina-Jahresversammlung 2005 verschiedene aktuelle Aspekte der Thematik auf. Bereits 1973 hatte „Evolution“ schon einmal im Mittelpunkt einer Jahrestagung gestanden. Damals beschäftigten sich die Referenten mit der Evolution von Kosmos (Galaxien, Sternen, Planetensystemen) und Erde, der Evolution des Lebens (von präbiotischen Formen über Zellen und Zellorganellen bis hin zu Sinnesrezeptoren und Immunsystemen) und der Evolution menschlicher Kultur (vom Verhalten bis zu Sprache und Kunst).

Die Schwerpunkte der Jahrestagung 2005 spiegeln den enormen Fortschritt der Erkenntnisse über das Evolutionsgeschehen und den veränderten Blickwinkel wider, der sich aufgrund des außerordentlich großen Wissenszuwachses und veränderter Diskussionsebenen in der Forschung, aber auch zwischen Wissenschaft und Gesellschaft ergeben hat. Daher stehen hier die Evolution des Menschen und dessen physische, geistige und kulturelle Entwicklungstendenzen im Zentrum der Ausführungen.

Neue Erkenntnisse haben sich u. a. ergeben (1.) in der Kosmologie, die die Ausgangsbedingungen, die herrschten, bevor Leben in die Welt kam, jetzt besser definieren kann; (2.) in der Molekular- und Zellbiologie, durch die Einblicke in die physikochemischen Wechselwirkungen gewonnen werden konnten, die reproduktionsfähige Strukturen ermöglichen; (3.) in den molekularbiologischen Genomanalysen, durch die die evolutionären Gesetzmäßigkeiten analysierbar wurden, die die Ausdifferenzierung zu Pflanzen und Tieren bedingen; (4.) in der Entzifferung des menschlichen Genoms, die die Voraussetzung ist, die Herkunft und Funktion unseres eigenen Genoms zu bestimmen, und (5.) in den Neurowissenschaften, durch die die Hirnfunktionen besser verstanden werden können.

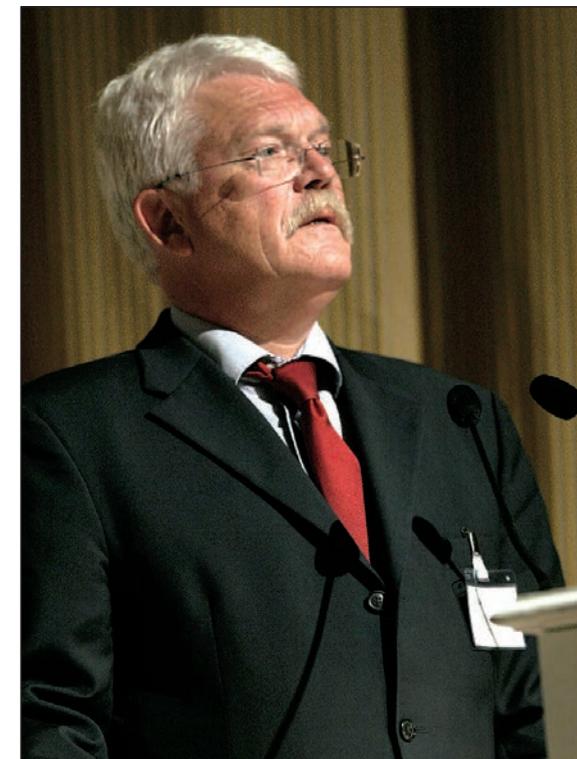
Der Band spannt daher den weiten Bogen vom Urknall und der Bildung der Planetensysteme über die Entstehung des Lebens, die molekulare Basis der biologischen Evolution, die Entwicklung von Prokaryoten und Eukaryoten, die Evolution und das Sterben der Saurier, die Analyse von Insektenstaaten bis hin zu Fragen der Menschwerdung und Formen der menschlichen Kultur. Hier werden beispielsweise „Das Sprachmosaik und seine Evolution“, die „Evolution durch Schrift“, Rituale, Religionen, Gemeinschaftsbildung und sozialer Wandel unter evolutionären Aspekten untersucht, aber auch „Bilder in Evolution und Evolutionstheorie“ sowie die „Griechischen Anfänge der Wissenschaft“ betrachtet.

Die ausgewählten Themen verdeutlichen, welche Bereicherung die Naturforscherakademie Leopoldina gerade in den letzten Jahren durch die Erweiterung ihres Fächerspektrums in Richtung der empirischen Kulturwissenschaften erfahren hat. Sie ermöglichte erst die Vielfalt der Zugänge und Herangehensweisen in der Behandlung der Evolutionsproblematik in diesem Band.

Volker TER MEULEN (Würzburg – Halle/Saale)
Präsident der Akademie

**Animal sociale.
Menschwerdung und Gemeinschaftsbildung –
Die Sicht eines Historikers**

Hans-Joachim GEHRKE (Freiburg i. Br.)



Zusammenfassung

Das Thema „Evolution und Menschwerdung“ verweist auf die Frage nach der Definition des Menschen und damit auf ein zentrales Problem jeder Anthropologie. Gerade die Doppelexistenz des Menschen zwischen Natur und Kultur zwingt hier zu einer wirklich transdisziplinären Sicht. Mithin sind hier auch die Geisteswissenschaften gefragt, und deshalb soll im Vortrag am Beispiel der historischen Perspektive gezeigt werden, worin deren Beitrag bestehen könnte.

Dies geschieht in zwei Abschnitten: Am Anfang steht eine Rückschau auf die Geschichte der Bilder und Definitionen des Menschseins seit der Antike und besonders nach der Herausforderung durch DARWIN und den Darwinismus. Dies geschieht weniger im Sinne einer Bestandsaufnahme, sondern als eine erste Orientierung auf bereits erarbeitete, durchdachte und zunehmend erhärtete Einsichten und Erkenntnisse.

Im zweiten Teil wird die Bedeutung des Geschichtlichen und der Geschichte auf die Formierung des Menschen erörtert. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der gut begründeten Erkenntnis, daß die menschliche Gemeinschaft und damit der Mensch als *animal sociale* auf Traditionen essentiell angewiesen sind. Dabei handelt es sich im wesentlichen um intentional gesteuerte und vermittelte Phänomene. Sie sind die Grundlagen für eine kulturelle Entwicklung, die in ihren eigenen Strukturen und Rhythmen – eben historischen, nicht phylo- oder ontogenetischen – verläuft. Für ihr Verständnis sind deshalb andere Instrumente notwendig als die der Evolutionsbiologie. Diese Sichtweise ist kompatibel mit neueren Positionen der Neurophysiologie und der Neuropsychologie (W. SINGER, M. TOMASELLO). Hier könnte der Ausgangspunkt für eine neue Geschichtliche Anthropologie liegen, in der natürliche und kulturelle Aspekte nicht reduktionistisch vereinseitigt, sondern in ihrer wechselseitigen Bedingtheit untersucht werden.

Abstract

Regarding the topic “Evolution and human development” one is faced with the problem of defining man, a crucial point in the different fields of anthropology. Especially due to the dual existence of man between nature and culture, a truly interdisciplinary perspective is to be taken up. Thus the humanities come into play. So the author tries to show their impact on the topic, using the historian’s viewpoint as an example.

The article falls into two parts. It begins with a review of those images and definitions of human existence developed since antiquity and, in particular, after the provocation aroused by DARWIN’S theory and by Darwinism. This review is not meant as a pure description but as a first orientation towards already established, elaborated and more and more corroborated concepts and findings.

In the second part, the author deals with the role of history and the sense of historical existence in human development. This is focused on the well founded insight that human society, and with it man as an *animal sociale*, is essentially based on traditions. Basically, they are intentionally driven and mediated phenomena fundamental for a cultural development that follows its own structures and rhythms, viz. historical, not phylo- nor ontogenetic ones. In order to understand them we have to use other tools than those common in evolutionary biology. This point of view is compatible with new positions in Neurophysiology and Neuropsychology (W. SINGER, M. TOMASELLO). This correspondence could be a starting point for a new Historical Anthropology that does not stress unilaterally physical nor cultural aspects but investigates them with respect to their reciprocal relationship.

Angesichts des Themas der Jahrestagung fragt es sich durchaus, ob ein Historiker überhaupt zuständig ist. Wenn es um „Menschwerdung“ geht, dann sind doch die Paläoanthropologen, Genetiker, prähistorischen Archäologen, auch die Linguisten besser geeignet als Geschichtswissenschaftler. Als solcher habe ich es mit Menschen zu tun, die schon schreiben und lesen können, also Wesen, bei denen der Prozeß „Menschwerdung“ längst abgeschlossen ist. Ermunterung gab mir allerdings der englische Titel, der – wie so oft – nicht deckungsgleich ist. „Human development“, das läßt, nach meinem Verständnis jedenfalls, auch zu, von Entwicklung der Menschen, das heißt auch Vorgängen innerhalb der schon fertigen Spezies zu sprechen. Das ist schon deshalb wichtig, weil ich in diesem Zusammenhang auch den Begriff Evolution problematisieren muß. Zugleich ist damit klar, daß ich auf diesem Felde gefragt und – hoffentlich – auch zuständig bin. Wenn man dem Historiker hier eine Kompetenz zubilligt, dann scheinen dabei im wesentlichen drei, zum Teil untereinander zusammenhängende Gesichtspunkte wichtig zu sein.

1. Der Gegenstand selbst ist, auch als Objekt wissenschaftlicher Analyse, höchst komplex und nicht ohne weiteres definierbar (KAMPER 1997, S. 85f.). Eigentlich kann man die Selbsterkenntnis als das große Ziel des Menschen und der Menschheit, als Individuum wie als Kollektiv, ansehen. Immer wieder hat man das Streben danach und die Fähigkeit dazu geradezu als Signum des Menschen verstanden. Dennoch (oder: deswegen?) gibt es für dieses Feld keine wissenschaftliche Disziplin. Dies müßte eigentlich die Anthropologie sein. Doch was heute unter dieser Flagge segelt, ist eher ein Spektrum oder eine Perspektive als ein Fach, eine Bündelung von Sichtweisen ohne Mitte und Kohärenz. Anderssprachliche Begriffe wie *sciences de l’homme* oder *humanities* – Begriffe, die auf den Renaissancehumanismus und über diesen auf die römische Griechenrezeption mit der Betonung der *humanitas* zurückweisen – sind heute *termini technici* für die gesamten Geisteswissenschaften. Aber denen allein kann man doch – das gebe auch ich gerne zu – den Menschen nicht überlassen, obgleich ohnehin heute eher eine andere Tendenz besteht. So herrscht dort, wo wir eigentlich eine integrale Anthropologie bräuchten, das disziplinäre Spezialistentum, das zwangsläufig mit der Wissenschaft verbunden ist und ebenso zwangsläufig, nach deren Regeln, immer wieder auch vereinfacht, also Komplexität reduziert.¹ Demgegenüber ruft man heute nach Inter- oder Transdisziplinarität. Das klingt mittlerweile schon trivial, ist aber deswegen nicht falsch, vielmehr zwingend geboten, gerade angesichts der eben erwähnten Tendenzen. Transdisziplinarität aber heißt nicht, gleichsam allweise auf anderen Feldern zu dilettieren (jedenfalls nicht mehr als unbedingt nötig), sondern sein eigenes Fach im Dialog vernehmlich einzubringen. Das soll hier geschehen, weil auch die Berücksichtigung der Geschichte unerlässlich ist, wenn man der Komplexität des Gegenstandes „Mensch“ gerecht werden will.

2. Diese Komplexität wird nicht zuletzt schon darin sichtbar, daß gerade der Anfang unserer Sache nicht ohne weiteres erkennbar ist. Im Hinblick auf die Menschwerdung sprach A. PORTMANN (1956, S. 108) geradezu von der „dunkle(n) Zone des Geheimnisses, die unseren Ursprung verhüllt“ – eine Zurückhaltung, die, so meine ich, gegenüber fast wöchentlich markt-schreierisch verkündeten Neu-Entdeckungen (mit *notabene* kurzer Halbwertszeit) richtig gut tut. Das Rätsel beginnt bereits damit, daß den, sagen wir, Materialien, die uns zur Erörterung

¹ Zum Grundsatz des „simplex sigillum veri“ siehe CASSIRER 1996, S. 317; vgl. auch CRAMER 1997a, S. 46 mit Hinweis auf DESCARTES’ *Discours de la méthode*.

der Frage des Ursprungs zur Verfügung stehen, die Antwort nicht ohne weiteres ablesbar ist: Anatomie, Gene, Artefakte, so wichtig sie sind, reichen nicht aus, um die Spezifika des Menschseins selbst zu konstituieren und dementsprechend zu demonstrieren. Sie bringen nicht aus sich heraus klare Ergebnisse.

Vielmehr müssen zunächst die Spezifika geklärt sein, damit wir danach fragen können, wie Anatomie, Anlagen und Artefakte beschaffen sein müssen, damit wir vom Menschen oder von Menschen sprechen können. Wir müssen hier deduzieren, zwar immer mit dem Blick auf die Materialien, aber doch geleitet von einer klaren Definition, wir müssen, um es noch einmal mit den Worten PORTMANN (1956, S. 116) zu sagen, ein „Wissen um die geistigen Voraussetzungen unserer Deutungsarbeit haben“.² Man kann es, mit Hans MOHR (2004, S. 273), auch hart und lapidar sagen: „Den Menschen gibt es genetisch nicht. Den idealen Menschen, den Prototyp, gibt es erst recht nicht. Der Mensch ist ein philosophisches Konstrukt, dem keine biologische Entität entspricht.“ Das mag sein, und wenn dem so ist, brauchen wir den Nicht-Gegenstand auch nicht zu erforschen. Schon George-Louis LECLERC, Comte DE BUFFON (1791, S. 171f.),³ königlich französischer Zoologe und Botaniker und einer der großen Köpfe in den Naturwissenschaften der Aufklärung, hatte in seiner Fundamentalkritik an LINNÉ betont, in der Natur gebe es keine Klassen und Arten, nur Individuen, und Kategorisieren sei ein Produkt unseres Geistes. Aber genau in solchen Klassifizierungen besteht wissenschaftliches Vorgehen. Ums Klassifizieren, Kategorisieren, Spezifizieren kommen wir nicht herum. Wenn wir den Menschen zum Gegenstand wissenschaftlicher Neugier machen, müssen wir eben bei dem „philosophischen Konstrukt“ ansetzen (vgl. KAMPER 1997, S. 85f.). Freilich müssen wir uns dann davor hüten, unsere Klassifizierungen „für Kennzeichen der Dinge selbst zu halten“, was nach John DEWEY „der verbreitete Trugschluß des wissenschaftlichen Spezialistentums“ ist (CASSIRER 1996, S. 109).⁴

Auf Grund dieser Voraussetzungen sind aber bei der hier aufgeworfenen Frage alle Zuständigen gefragt, Philosophen nicht zuletzt, Geisteswissenschaftler und eben auch Historiker, gerade Historiker, würde ich sagen. Historiker haben nämlich gelernt und lernen und studieren intensiv, wieder und wieder, aus Materialien (wir nennen das Quellen) Bezüge zu Wirklichkeiten herzustellen, sie als „Äußerungen“ der Menschen zu sehen, die als „Zeichen einer in ihnen liegenden Sinnhaftigkeit verstanden werden“ können (HEUSS 1961, S. 19). Nach Johann Gustav DROYSSENS *Historik* ist es besonders wichtig, etwa ein Artefakt nicht als solches zu sehen, sondern auf das seiner Herstellung zugrunde liegende Bewußtsein zu schließen.⁵

3. Die Debatte über den Menschen und die Menschwerdung ist häufig – auch wenn sie auf höchstem Niveau geführt wird – dadurch gekennzeichnet, daß sie sich auf phylo- und/oder ontogenetischer Ebene bewegt. Der Gegenstand wird also evolutions- und entwicklungsbiologisch analysiert, beides wird kollationiert und konfrontiert, und die anthropologischen und psychologischen Methoden, derer man sich dabei bedient, sind markant szientifisch. Das ist vollkommen sinnvoll und gewiss notwendig, wenn es um wissenschaftliche Verfahren gehen soll. Die dabei erzielten eindrucksvollen Ergebnisse sprechen für sich. Dennoch muß man festhalten, was Michael TOMASELLO (1999) aus psychologischer Sicht angemahnt hat: daß

nämlich zwischen der *longue durée* der Phylogenese und der letztendlich dramatisch kurzen Ontogenese die historische Zeitdimension einzuschalten sei, man also gleichsam drei Geschwindigkeiten oder Rhythmen der menschlichen Entwicklung unterscheiden müsse.

Hierdurch gerät aber wieder in den Blick, was in der theoretischen Sicht von Geisteswissenschaftlern eine schon geradezu klassische Position ist: Selbsterkenntnis des Menschen sei historische Erkenntnis, wie etwa so unterschiedliche Denker wie Auguste COMTE, Benedetto CROCE und José ORTEGA Y GASSET sehr deutlich unterstrichen haben.⁶ Das möchte ich nun stark machen in unserem transdisziplinären Dialog, in der Hoffnung, man könne letztlich folgenden Worten Wilhelm DILTHEYS (1968, S. 279) eine gewisse Beachtung schenken: „Der Mensch erkennt sich nur in der Geschichte, nie durch Introspektion.“ Insofern wir hier den Menschen als wissenschaftliches Objekt sehen, sollte wenigstens das Potential des Menschen – und das verweist auch auf die genetische Performanz – deutlich werden, das sich letztlich in der Geschichte entfaltet und erschließt (PLESSNER 1961, S. 85).

Vor diesem Hintergrund präsentiere ich meine Überlegungen in zwei Schritten: Als Historiker suche ich zunächst – und das liegt besonders nahe –, welche Antworten Menschen bisher auf die hier aufgeworfene Frage nach der Wesensbestimmung des Menschen gegeben haben. Das soll kein doxographisches *l'art pour l'art* oder ein *specimen eruditionis* sein, sondern als Hilfe in der Debatte über unsere Fragestellung dienen, auch im Sinne einer ersten Selbstvergewisserung. Historisch ist schon die Einsicht, daß wissenschaftlicher Fortschritt keine geradlinige Entwicklung darstellt und daß Entdeckungen gelegentlich mehrfach gemacht werden – also offensichtlich auch in Vergessenheit geraten können („Literaturkenntnis schützt vor Neuentdeckungen“, heißt ein geflügeltes Wort unter uns, das ich Hermann HEIMPEL verdanke, vgl. auch DANIEL 2002, S. 90). Menschen denken über sich schon sehr lange nach – dies mag sogar bereits ein spezifisches Merkmal sein. Von daher ist die Erwartung nicht absurd, daß einige Ergebnisse dieses Nachdenkens ihren Wert haben und behalten. Kluges Beobachten und logisches Folgern können auch dort Erkenntnisse liefern, wo die Möglichkeiten technisch gestützter Betrachtung gering sind. Sie mögen dann, in unserem szientifischen Sinne, nicht wirklich „bewiesen“ sein (aber was ist das schon!), aber doch auch nach unserem aktuellen Kenntnisstand im Kern zutreffen – gerade wenn es um ein „philosophisches Konstrukt“ geht. Sie verdanken sich ja nicht unbedingt bloßer Intuition oder Spekulation, mythischen Horizonten oder religiösen Vorstellungen, sondern auch genauer Beobachtung und schlüssigem Denken, *theoria* und *episteme*.

Daran angelehnt und gleichsam aus dem Fundus der Wissenschaftsgeschichte schöpfend, möchte ich im zweiten Teil eigene Überlegungen präsentieren, mit dem Blick auf den aktuellen Forschungsstand in den Anthropologien und im Sinne eines Beitrags zum interdisziplinären Dialog, also in dem Bewußtsein, daß alle unsere jeweils fachspezifischen Reduktionen der Korrektive bedürfen und einer Komplettierung harren und daß unsere jeweiligen Perspektiven auch nach anderen Blickwinkeln verlangen. Ich mache hier die meine stark, aber ich verstehe das als ein Plädoyer für eine integrale Anthropologie.⁷

⁶ Hierzu siehe eingehend CASSIRER 1996, S. 104ff., 262f., 273 und vgl. MORIN 1997, S. 121, der Geschichte als Demonstration der „ambivalente(n) und komplexe(n) Wirklichkeit der ‚menschlichen Natur‘“ bezeichnet – das erinnert übrigens massiv an die Perspektive des THUKYDIDES (5. Jahrhundert v. Chr.), eines der Gründerväter der Geschichtsschreibung.

⁷ Insofern ergänze und präzisiere ich hiermit auch das, was ich im letzten sogenannten „Grauen Plan“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft unter dem Stichwort „Anthropologie menschlicher Gemeinschaften“ vorgelegt habe (GEHRKE 2002).

² Siehe generell PORTMANN 1956, S. 25 mit Anm. 1 auf S. 114ff.

³ Den Hinweis verdanke ich meinem Studenten David MOTADEL.

⁴ Zur grundsätzlichen Problematik der Substantialisierung von gedanklichen Konstrukten siehe vor allem BOURDIEU 1987, S. 26ff. und 70ff.

⁵ Dieses nennt DROYSSEN (1937, S. 38f.) als guter Hegelianer „Menschengeist“.

1

In seinem Dialog *Protagoras* legt PLATON dem Protagonisten einen gleichnisartigen, erklärenden Mythos in den Mund, gibt also auf diese Weise einen gebrochenen Reflex auf die sophistische Anthropologie, die erste, die diesen Namen in dem gerade erwähnten Sinne verdient.⁸ Schon hier, lange vor HERDERS „Mängelwesen“ (GEHLEN 2004, S. 84), bildet die schlechte natürliche Grundausstattung des Menschen den Ausgangspunkt (der Mensch ist „unbeschuht, unbedeckt und unbewaffnet“). Er kompensiert das – und das ist dann der Grund für seinen Erfolg –, indem er von Prometheus das den Göttern entwendete Feuer bekommt sowie alles Wissen, das für das Leben notwendig ist.⁹ Technik und Wissen sind also überlebensnotwendig für den Menschen.¹⁰ Hinzu kommen soziale Qualitäten, Scham und Recht (*aidos* und *dike*). Sofern der Mensch auf dieses alles angewiesen ist, ist es für ihn ebenso charakteristisch wie seine Defizienz unter rein physischen Gesichtspunkten, es unterscheidet ihn vom Tier und nähert ihn den Göttern an, ohne daß er diese je erreicht.

Auf den Punkt gebracht, ist es dann später die Vernunftbegabtheit, die dem Menschen zugeschrieben wird, wobei im philosophischen Denken die Fähigkeit und die Verpflichtung zur Selbsterkenntnis eingeschlossen sind (CASSIRER 1996, S. 21ff.). Das wird schon sehr deutlich bei PLATON, der allerdings erfahren und skeptisch genug war, in die Seele neben das Vernünftige auch Energie und Trieb zu stellen. Nicht viel anders unterstreicht ARISTOTELES die Bedeutung der Vernunft.¹¹ Darüber hinaus hebt er hervor, daß das menschliche Leben auf Gemeinschaft angewiesen sei, mit dem berühmten Satz vom *zoon politikon* (*Politik* 1,2,1253 a 7f.), und daß es in dieser Gemeinschaft nicht um das Leben schlechthin, im Sinne des bloßen Vegetierens, gehe, sondern um Gerechtigkeit, ja um das gute Leben, letztlich das Glück, sozusagen den *pursuit of happiness* (*Politik* 3,9,1280 a 31ff.); und das hängt wiederum mit der Vernunftgebundenheit und damit der ethischen Kompetenz des Menschen zusammen, welche ihn vom Tier unterscheidet.¹²

Am markantesten wurde die Vernunftgebundenheit des Menschen in der Lehre der Stoa herausgearbeitet. Kraft Vernunft hat der Mensch Anteil an der von Vernunft regierten Weltordnung und damit an göttlichen Kräften. Im einzelnen haben die Stoiker hier durchaus differenziert. So hat besonders POSEIDONIOS die Spannung zwischen Vernunft und Trieb, zwischen Göttlichem und Tierischem im Menschen betont (POHLENZ 1950, S. 328f.) und dies nicht nur als Dualismus zwischen Seele und Leib markiert, sondern, in Anlehnung an PLATONS Psychologie, als innerseelischen Konflikt verstanden. Generell aber waren für die Stoiker Vernunft und das Vernünftige geläufiges Merkmal des Menschen, als Individuum wie als Gattungswesen. Gerade letzteres hat man in der Stoa besonders akzentuiert, mit der Rede vom *genus humanum*. Dank vielfältiger Rezeptionen – in der antiken Philosophie, in den jüdisch-christlichen Lehren, schließlich im Neostoizismus der Aufklärung – wurden diese stoischen

8 Zur Interpretation vgl. BÖHME 1997, S. 101.

9 Im Original: *peri tōn bion sophia*, 321cd.

10 Das Wissen um die Bedeutung von Kenntnis und Technik war schon der altorientalischen Weisheit inhärent, wie markant der Beginn des Gilgamesch-Epos (V. 1–24) zeigt (MAUL 2005, S. 46).

11 *logos*, der hier auch die Sprachfähigkeit bezeichnet, *Politik* 1,2,1253a9f.

12 Ganz ähnlich wie beim platonischen *Protagoras* erscheinen auch bei ARISTOTELES Verstand und Tüchtigkeit (*phronesis* und *arete*) als natürliche „Waffen“ des Menschen. Sie müssen aber an Recht und Gesetz (*nomos* und *dike*) gebunden sein, da sie sonst den Menschen zum übelsten Lebewesen machen (*Politik* 1,2,1253 a 31ff.). Zu rechtem Denken und Handeln ist der Mensch aber – qua Vernunft- und Sprachfähigkeit – von Natur aus in der Lage (ebd. 1253 a 14ff.), dies ist sein Proprium (*idion*, 16).

Positionen Gemeingut über Jahrhunderte und Jahrtausende hinweg. Entsprechendes gilt für die von dieser Grundposition her abgeleiteten Vorstellungen von Wahrnehmung und Gedächtnis, bis in die Moderne hinein.

Andererseits wurden immer wieder auch die Grenzen der Vernunft betont, vor allem im Christentum und hier besonders durch AUGUSTINUS, der in seinen gnostischen Anfängen gerade auf diese gesetzt hatte und sich ihrer Begrenztheit schmerzlich bewußt geworden war. Von hier aus ergab sich ein neues Verständnis des Göttlichen, das man weniger von der Vernunft als von der Gnade her bestimmte. Im Mittelalter blieb dies ein wesentlicher Gedanke, der schließlich in der Reformation ganz stark gemacht wurde, auch wenn der Aspekt des Vernünftigen in der göttlichen Weltordnung und damit als Charakteristikum des Menschen immer stark blieb, vor allem in der Scholastik mit ihrem Rückbezug auf ARISTOTELES. Unter Absehung von der religiösen Herleitung wurde dies gerade in der Aufklärung, in der man mit besonderer Emphase von Menschheit sprach und das Leben auf Vernunft gegründet sah, wieder in den Vordergrund gerückt. Freilich suchte man dort auch, unter dem Einfluß von LEIBNIZ' Idee der *lex continui*, nach dem Bindeglied zwischen Mensch und Tier, wie überhaupt in der sich entwickelnden Biologie – so in LINNÉ'S *Systema naturae* usw. – der Mensch dem Tierreich zugeordnet wurde, wobei gelegentlich sogar, nicht zuletzt bei ROUSSEAU (1755; vgl. GAUL 2001, S. 77ff.), die Schranke mindestens zum Affen in Frage gestellt wurde. Aber auch, wo Nähe und gleitende Übergänge betont wurden, blieb Vernunft das Charakteristikum des Menschen bzw. einer Kategorie, der man sich selber zurechnete: *homo sapiens*.¹³ Den Wissensstand resümierend und weiterführend zugleich, ist dann die Differenzierung innerhalb der Anthropologie, die Immanuel KANT (2000, S. 3ff.) vorgenommen hat und die noch heute tragfähig ist: Er spricht von physiologischer und von pragmatischer Anthropologie. Erstere befaßt sich mit den physischen Voraussetzungen, also gleichsam mit dem, „was die Natur aus dem Menschen macht“, bei letzterer geht es um Wirkung und Aktivität des Menschen selbst, in dreifacher Unterscheidung, nämlich nach dem, was der Mensch „als freihandelndes Wesen aus sich selber macht oder machen kann und soll“ (S. 3): Man könnte entsprechend auch vom Menschen als Gegenstand der Geschichte, der Soziologie und der Philosophie sprechen.

Wissenschaftsgeschichtlich gesehen ergab sich ein neuer Schub, ja ein wesentlicher Einschnitt in einer Konstellation, die unserer aktuellen Situation in vieler Hinsicht vergleichbar ist. Es handelte sich dabei zugleich um eine fundamentale Herausforderung des Glaubens und des Geistes, mithin der Theologie und der Geisteswissenschaften schlechthin, durch die markanten Erkenntnisfortschritte in den Naturwissenschaften im 19. Jahrhundert. Für uns wesentlich sind dabei DARWIN'S Beobachtungen und Schlußfolgerungen zur Entstehung der Arten. Diese waren gerade deshalb bedeutsam, weil die damit begründete Theorie der Evolution gerade dank des hohen Respekts vor den wissenschaftlichen Erkenntnissen rasch von der Biologie auf andere Bereiche übertragen wurde und einen Schlüssel zum Verständnis menschlicher Existenz lieferte. So orientierte der Pragmatiker Herbert SPENCER die Philosophie an der Biologie, nämlich als Ergebnis eines langen Anpassungsprozesses, geradezu als Beitrag zum *survival of the fittest* (PLESSNER 1961, S. 44f.). Auch sonst wurden Theorien dominant, die den Menschen einem Grundprinzip von gleichsam naturgesetzlicher Art unterworfen sahen, das sein Verhalten und seine Entwicklung bestimmte, so NIETZSCHES „Wille zur Macht“, MARX' ökonomische Orientierung oder FREUDS Fixierung auf den Sexualtrieb (CASSIRER 1996,

13 Bei LINNÉ neben *homo troglodytes* (Schimpanse) bzw. *homo sylvestrus* (Orang Utan).

S. 43f.) – ganz abgesehen von sozialdarwinistischen und nicht selten rassistischen Vorstellungen.

Die Reaktionen auf diese Herausforderungen fielen sehr unterschiedlich aus, von einer neuen Definition des Lebens bei BERGSON bis hin zum Rückzug auf das Geistige (HEUSS 1961, S. 20f.). Für uns besonders wichtig aber ist eine – sagen wir – realistische Richtung, die sich auf den Boden der – seinerzeitigen – biologischen Erkenntnisse stellte, und zwar in eher theoretischer Hinsicht auf Jakob Johann VON UEXKÜLLS „Funktionskreise“ (CASSIRER 1996, S. 47f.) mit dem Bezug auf bestimmte Organismen sowie in eher experimenteller Hinsicht auf die Versuche mit Menschenaffen, vor allem von W. KÖHLER (1921, 1925), dann von Robert M. YERKES (1929, 1943). Wichtig ist darüber hinaus, daß die sich hiermit formierende philosophische Anthropologie nicht allein die Phänomenologie und die Hermeneutik beeinflusste,¹⁴ sondern auch mit der stark phänomenologisch und ethologisch orientierten Biologie in engem Gedankenaustausch stand (VON UEXKÜLL 1928, BUYTENDIJK 1933, 1956) und auf sie entsprechend zurückwirkte, wie vor allem bei Adolf PORTMANN (1956, bes. S. 11, 13f., 25) sichtbar wird. In diesem Zusammenhang wäre aber auch die medizinische Anthropologie Viktor VON WEIZSÄCKERS (1987) zu nennen.

Im Jahre 1928 erschienen fast gleichzeitig Max SCHELERS *Die Stellung des Menschen im Kosmos*¹⁵ und Herbert PLESSNERS *Die Stufen des Organischen und der Mensch*. In den 20er Jahren hatte Ernst CASSIRER seine groß angelegte *Philosophie der symbolischen Formen* vorgelegt, die er in der Emigration in Yale als *An Essay on Man* (CASSIRER 1923–1929, 1944, 1996) auf Englisch zusammenfaßte. Arnold GEHLEN, Schüler von M. SCHELER und N. HARTMANN, führte vieles davon weiter, in lebenslanger Arbeit, zunächst in seinem systematischen Werk *Der Mensch* (1940/2004), dann in anderen Veröffentlichungen, besonders in *Urmensch und Spätkultur* (1956/1964).

Für uns besonders aufschlußreich sind PLESSNER, CASSIRER und GEHLEN. Sie konvergieren in wichtigen Punkten, und zwar zunächst vor allem in ihrem Ansatz. Sie verstehen den Menschen ganz funktionalistisch und in konsequenter Absehung von Metaphysik und Idealismus, Ontologie und Transzendenz, als Naturwesen auf der Grundlage biologischer Forschungen. Mit anderen Worten, sie schreiben ihm nicht von vornherein eine Sonderexistenz zu, sondern suchen nach seinen Spezifika, d. h. nach den Charakteristika, die sich aus seiner natürlichen Ausstattung ergeben. Neben einer solchen Art von Anthropologie könnte also auch eine Hippologie, Kynologie, Leontologie usw. stehen, wenn man sich entsprechend mit Pferden, Hunden oder Löwen usw. beschäftigte – wobei freilich ein wesentlicher Unterschied schon darin besteht, daß im Falle des Menschen das Objekt auch das Subjekt der Forschung bildet. Entscheidend ist nun, daß unter solchen Voraussetzungen in allen drei Konzepten der Mensch als Naturwesen sein Spezifikum darin hat, daß er das Natürliche – wie auch immer – transzendiert und transformiert.

PLESSNER geht vom Verhältnis des Menschen zu und in seiner Umwelt aus. Durch die aufrechte Haltung und den Werkzeuggebrauch ergeben sich neue Bezüge zwischen Auge und Hand, Sehen und Begreifen. PLESSNER spricht vom „Auge-Hand-Feld“ (PLESSNER 1961, S. 56ff.). Diese neuen Bezüge fördern Prozesse von Vergegenständlichung und Versachlichung, die wiederum durch die Sprache forciert werden und sich schließlich auf das Umfeld des Men-

schen und damit auch auf sein Verständnis seiner selbst auswirken. Er kann Umwelt und Selbst als Gegenstand sehen, also objektivieren. PLESSNER führt hier die Begriffe „Exzentrum“ bzw. „exzentrische Position“ (S. 68, 80) ein und redet auch von „vermittelnder Unmittelbarkeit“ (S. 68). Der Mensch, der nicht sein Körper ist, sondern seinen Körper hat, lebt also in „natürlicher Künstlichkeit“, oder emphatischer: „Zwischen Tier und Engel gestellt, ein Zwitterwesen, verrät der Mensch in seiner Weltoffenheit ein typisches Zurückbleiben hinter den Möglichkeiten, durch die er über jede Umweltbindung von vornherein hinausreicht: ein die Tierheit hinter sich lassendes Tier.“ (PLESSNER 1961, S. 68.)¹⁶

CASSIRER sieht ebenfalls eine Brechung zwischen Umwelt und Mensch, die letztlich eine qualitative Unterscheidung zur Tierwelt markiert. Zwischen Reiz und Reaktion oder, mit VON UEXKÜLLS Begriffen, „Merknetz“ und „Wirknetz“, tritt eine weitere Kategorie, die CASSIRER „Symbolnetz“ oder „Symbolsystem“ nennt (CASSIRER 1996, S. 49). Dieses ist auch der Raum des Bewußtseins, die kulturelle Sphäre. Konsequenterweise unterstreicht auch CASSIRER das Spannungsverhältnis, in dem sich der Mensch dergestalt befindet: Die Einheit des Menschen sei eine „dialektische: die Koexistenz von Gegensätzen“ (CASSIRER 1996, S. 337).

Daß der Mensch „von Natur aus Kulturwesen“ ist, ist auch für GEHLEN ausgemacht, der, in Auseinandersetzung mit den genannten Autoren und orientiert an KANT, teilweise auch am amerikanischen Pragmatismus (John DEWEY, George Herbert MEAD), ein betont wirklichkeitswissenschaftliches Programm vertrat, welches ohne nicht mehr zurückführbare Kategorien auskommen sollte; konsequent versagt er sich „jede an den Menschen als ‚Geistwesen‘ erinnernde Begrifflichkeit“ (HEUSS 1973, S. 152). Ähnlich wie für PLESSNER ist der Mensch auch für GEHLEN ein spezifisches „Organisationsmodell“ der Natur. Er steht unter dem Zwang, zu sich selbst Stellung zu nehmen (GEHLEN 1940/2004, S. 10), d. h. zu selbstreferentieller Deutung. Vernunft und Selbsterkenntnis sind also nicht mehr ein metaphysisches oder göttliches Element, sondern ein Zwang der Natur. Das hängt vor allem mit der schlechten Ausstattung des Menschen durch die Natur zusammen, die ihn stiefmütterlich behandelt hat. Den Herderschen Begriff des „Mängelwesens“ stellt GEHLEN (1940/2004, S. 82ff.) also markant ins Zentrum,¹⁷ und er setzt hier bekanntlich seine überwiegend erst später¹⁸ formulierte Institutionenlehre an.

Daneben aber wird die Plastizität des Menschen hervorgehoben, die wiederum damit zusammenhängt, daß sein Instinktvermögen reduziert ist. Der Mensch ist für GEHLEN (1940/2004, S. 10) – mit NIETZSCHE – das „noch nicht festgestellte Tier“, sein Programm schnurrt nicht einfach ab, es ist nur ansatzweise vorhanden. Erst durch Handlung – ein zentraler Begriff bei GEHLEN –, konkret gesagt, durch Austausch mit der Umwelt im Sinne stetiger Rückkoppelung, formt sich der Mensch (REHBERG 2004). Hierin gerade liegt der erwähnte Zwang, der sich letztendlich bis hin zur Erziehung und Bildung erstreckt, zur „Zucht“ im Sinne KANTS, also zur Formung eines Charakters.

Rückkoppelung herrschte auch, wie schon erwähnt, in der intellektuellen Debatte jener Jahre. Der Ball, den die Philosophen von den Biologen übernahmen, wurde von diesen wieder aufgenommen. Naturwissenschaftliche Versuche und Beobachtungen ergänzten die Deutungen und verstärkten sie damit, lieferten neue Argumente für die weitere Ausgestaltung des anthropologischen Systems. Wichtig waren hier vor allem die Forschungen und Einsichten

¹⁴ Hier wären M. MERLEAU-PONTY sowie H.-G. GADAMER und P. RICOEUR zu nennen (BUYTENDIJK 1973, S. 98, 103).

¹⁵ Zu diesem und seiner Vorstellung vom Menschen als „Neinsagenkönner“ und „Asket des Lebens“ vgl. BÖHME 1997, S. 106.

¹⁶ Zur Doppelnatur vgl. auch BÖHME 1997, S. 93, 111f.

¹⁷ BÖHME 1997, S. 102 stellt gerade hier einen Bezug zur antiken Anthropologie her.

¹⁸ In *Urmensch und Spätkultur*, ursprünglich gedacht als *Der Mensch*, Band II.

Adolf PORTMANNs, besonders sein Konzept des „extra-uterinen Frühjahrs“. Es paßte nicht nur zur Vorstellung vom „Mängelwesen“, sondern machte besonders deutlich, daß die ‚Kompletierung‘ des Menschen des sozialen Umfeldes und der stetigen Auseinandersetzung mit der Umwelt zwingend bedurfte und daß dieses zum physischen Haushalt des Menschen gehörte, der so von Natur aus ein *animal sociale* ist (in einem nicht ganz anderen Sinne als bei ARISTOTELES, aber biologisch vertieft). Zugleich demonstrierte PORTMANN die auch zeitliche Koinkidenz von körperlichen Lernschritten (Aufrichten, Gehen) mit intellektuellem Begreifen (Einsicht, Sprache) und steuerte neben Beobachtungen zur prä- und postnatalen Phase sowie zum ersten Lebensjahr auch weitere Überlegungen zu Spezifika menschlicher Entwicklung und Existenz (Größenwachstum, Pubertät und Alter) bei. Als guter Wissenschaftler war PORTMANN optimistisch. Er glaubte, auf dem Weg zu einem „neuen Bild des Menschen“ zu sein, gerade mittels der Integration biologischer und philosophischer Konzepte: „Wir wissen, daß wir aus einem ins Unendliche reichenden Ganzen ausgliedern, wenn wir unser forschendes Augenmerk auf irgendeinen besonderen Sachverhalt des Menschlichen richten. Da sich in dieser Gesinnung das biologische Schaffen mit wesentlichen philosophischen Gedanken unserer Zeit trifft, so bahnt sich eine Gemeinsamkeit der Grundstimmung der wissenschaftlichen Arbeit an, die wir als gutes Zeichen beachten wollen. Aus ihr wachsen in der Stille an vielen Orten die Kräfte, die an einer neu zu schaffenden Anthropologie mitgestalten.“ (PORTMANN 1956, S. 14.)

Doch die Synthese kam nicht zustande, im Gegenteil: Die Kluft zwischen den „zwei Kulturen“ in den Wissenschaften, die man nun wieder einmal konstatierte und so benannte, vertiefte sich. Anthropologie blieb eher ein Nebeneinander von Anthropologien. Diese fanden keine Mitte, und ihre Fähigkeit zum Dialog erwies sich als eher beschränkt. Dies zeigt nicht zuletzt der unter der Ägide von Hans-Georg GADAMER und Paul VOGLER, also von geistes- und naturwissenschaftlicher Seite her, Anfang der 70er Jahre unternommene Versuch, die Dinge unter dem Stichwort *Neue Anthropologie* zusammenzuführen (GADAMER und VOGLER 1973). Die stattlichen Bände mit nicht selten eindrucksvollen Artikeln bilden kein Ganzes, keine Summe, sondern eher eine Addition von teilweise erstaunlich Disparatem: Es geht eben um Biologische Anthropologie, Sozialanthropologie, Kulturanthropologie, Psychologische Anthropologie, Philosophische Anthropologie – das allerdings immerhin doch so, daß im pluralistischen Nebeneinander kein Alleinvertretungsanspruch vorherrscht.

Man hat natürlich zu fragen, warum es zu der von PORTMANN erwarteten Synthese nicht gekommen ist. Gewiß hat bei der Bereitschaft zu ihr auch das Zeiterleben, die Erfahrung von Nationalsozialismus und Zweitem Weltkrieg, eine bedeutende Rolle gespielt: Das Tierische im Menschen, angeheizt durch die Pervertierung des Darwinismus bei HITLER, stand als Menetekel unmittelbar vor Augen, und das mochte dazu führen, die Trennlinien zwischen Mensch und Tier klarer zu ziehen – bei PORTMANN jedenfalls ist das deutlich wahrzunehmen.

Ein sozusagen innerwissenschaftlicher Grund lag wohl auch darin, daß auch die biologischen Ansätze – es ging sehr stark um Verhaltensforschung und Tierpsychologie – ihrer Natur nach der Philosophie und den Humanwissenschaften näher standen (HEUSS 1979, S. 125). Die wichtigste Ursache liefern aber in meinen Augen die atemberaubenden Entdeckungen der biologischen Forschung selbst, die auf anderen Gebieten und mit ganz anderen – vor allem biochemischen und biophysikalischen – Methoden gemacht wurden und die die arbeitsteilige Spezialisierung massiv verstärkten. Mit ihnen etablierten sich die *life sciences* zu einer neuen Leitwissenschaft, die sich von der Philosophie und den Geisteswissenschaften entfernte. Mit den Leistungen von WATSON und CRICK sowie der daran anknüpfenden und immer weiter aus-

greifenden Erforschung der Gene, der Wendung zur Proteomik und den bahnbrechenden Fortschritten in den Neurowissenschaften sind völlig neue Grundlagen geschaffen worden, ja immer noch *in statu nascendi*.

Das alles ist selbst von Fachleuten schwer zu verdauen, geschweige denn von Außenstehenden und somit auch von Vertretern anderer Disziplinen. So kommt denn selbst ein so kluger Philosoph wie Vittorio HÖSLE der Verzweiflung nahe, wenn er konstatiert: „Es ist eine der größten Demütigungen der Philosophie des 20. Jahrhunderts, daß es ihr immer schwerer, wenn nicht gar unmöglich geworden ist, die Fortschritte in den Naturwissenschaften auch nur rudimentär zu verstehen.“¹⁹ Wie weit sind wir von PLESSNER, CASSIRER, GEHLEN entfernt, die übrigens alle auch naturwissenschaftlich gebildet waren! Jedenfalls ist so eine neue Herausforderung entstanden, die sich durchaus mit der durch DARWIN und die Evolutionstheorie vergleichen läßt – zumal die Genetik zu deren Revitalisierung beigetragen hat. Diese Herausforderung wird – und auch hier gibt es frappierende Parallelen zu der Zeit vor 100 Jahren²⁰ – noch dadurch forciert, daß Vertreter dieser höchst erfolgreichen Forschungen, dazu aber auch diejenigen Repräsentanten der öffentlichen Meinung, die diese bestenfalls halb verstehen, aus ihnen wieder eine einheitliche Theorie zum Verständnis aller humanen Dinge machen, eine einheitliche Theorie, die alles von einem Blickwinkel her erklärt. Sie läßt etwa die Regeln der Evolution allumfassend gelten, und selbst wenn zugegeben wird, daß es eine ökonomische oder kulturelle Entwicklung gibt, so muß sie dann auch nach den Mechanismen der biologischen Evolution ablaufen, die sich mit naturwissenschaftlichen Methoden erforschen und mit entsprechenden Kausalitätsableitungen erklären läßt (MOHR 2005, S. 41, 46). Mag sie auch immer noch viele Rätsel aufgeben, auf jeden Fall soll sie ein kohärentes und alles durchdringendes System darstellen, eine Art von Passepartout auch für die gesamte Anthropologie.

Ähnlich scheint es jetzt mit der Hirnforschung zu gehen. Ich kann hier gar nicht auf die aktuell intensiv diskutierte Thematik des freien Willens eingehen, sondern nur auf ein dem Historiker sehr naheliegendes und nahegehendes Feld hinweisen, den Komplex von Erinnerung und Gedächtnis. Hier zeigt jetzt Johannes FRIEDS (2004) höchstgelehrter Versuch, eine neue historische Memorik zu begründen, wie stark auch Geisteswissenschaftler sich von den neuen Erkenntnissen hinreißen lassen und dabei sogar päpstlicher werden als der Papst. Häufig herrschen jedoch Nichtbefassung, Verständnislosigkeit, Trotz, Arroganz – auf beiden Seiten. Man spricht und schreibt mehr gegen- und übereinander als miteinander. Statt die notwendige Reduktion als solche erkennbar zu machen, verabsolutiert man nicht selten Ergebnisse von naturgemäß begrenzter Reichweite. In der Soziobiologie steuern „egoistische Gene“ – Klassifizierungen, die für die Sache selbst genommen werden – auch sehr komplexe soziale Prozesse. In der Sozialanthropologie erscheinen gelegentlich auch physische Phänomene, wie das biologische Geschlecht (*sex*), als Ergebnis kultureller Prägung. Die radikalen Vertreter der Naturwissenschaften haben damit die Kultur ebenso erfolgreich beseitigt wie solche der Geisteswissenschaften die Natur. Die Gefahr, daß die „zwei Kulturen“ (SNOW 1967) noch weiter auseinanderdriften, ist durchaus aktuell. Jedenfalls sind wir mit einem echten Dilemma konfrontiert, da uns die arbeitsteilige Wissenschaft zunächst zur spezialistischen Reduktion zwingt.

¹⁹ Zitiert nach MOHR 2005, S. 39.

²⁰ Vgl. die Charakterisierung der seinerzeitigen Herausforderung durch PLESSNER 1961, S. 44.

Gerade hier möchte ich mit einem Gesprächsangebot von geisteswissenschaftlicher, konkret: historischer Seite ansetzen, welches angesichts des beschriebenen Dilemmas vielleicht weiterhilft. Als Ziel steht mir durchaus so etwas wie eine integrale Anthropologie vor Augen.²¹ Dabei soll der Graben zwischen den zwei Kulturen bzw. zwischen Natur und Kultur nicht eingeebnet, sondern sinnvoll überbrückt werden. Angesichts des Gegenstandes „Mensch“ ist das auch unerlässlich. Wie der gerade vorgelegte Überblick gezeigt haben sollte, gibt es gute Gründe, ihn mindestens hypothetisch von beiden Seiten, der Natur und der Kultur her, anzugehen – jedenfalls wenn es um den Menschen geht, mit dem ich es als Historiker zu tun habe.

Es handelt sich um *Homo sapiens*, wie er nach derzeitigem Kenntnisstand nach längerer Entwicklung²² wohl erstmalig in Ostafrika vor rund oder gut 130000 Jahren nachweisbar ist²³ und sich um 40000 bp²⁴ in der Kulturstufe des Aurignacien mit dem sogenannten Crô-Magnon-Menschen (HOFFMANN 1999, S. 30, 76ff.) bereits in Europa weit verbreitet hatte,²⁵ also um die Spezies, die man auch den anatomisch modernen Menschen nennt, oder, noch präziser und zur Unterscheidung von den archaischen Vorstufen sowie gegebenenfalls vom Neandertaler (sofern man diesen der Spezies *Homo sapiens* zurechnet), als *Homo sapiens sapiens* bezeichnet. Und das heißt primär: um ein Lebewesen, zu dem wir nach unserer gesamten phy-

21 Eine solche scheint heute weniger konturiert zu sein als zu PORTMANNs Zeiten. Sie müßte eher von einer Bündelung der verschiedenen empirischen Forschungen auf verschiedensten Gebieten, also gleichsam von Schnittmengen, ausgehen (vgl. KAMPER 1997, S. 55f.), um das jeweilige Systemdenken zu überwinden (ebenda, S. 90). Freilich geht es auch da ohne einen theoretischen Rahmen durchaus nicht ab, weil die gegenwärtigen Diskussionen nicht zuletzt daran krankten, daß man sich auf methodologischem Gebiet schlecht versteht. Gerade hier wären dann vor allem jene Philosophen zu beachten, die sich auf den Boden der szientifischen Erkenntnisse stellen und ohne metaphysische Voraussetzungen, welcher Art auch immer, auszukommen such(t)en. Neben den ‚Klassikern‘ HUME und KANT sind hier vor allem DEWEY, RUSSEL, CASSIRER, PLESSNER, HARTMANN und POPPER zu nennen (vgl. vor allem HOCHHUTH 2005, S. 750, der besonders auf N. HARTMANN, einen ansonsten in diesem Kontext Vergessenen, zurückgreift).

22 Man spricht hier von *Homo sapiens praesapiens* (MÜLLER-KARPE 1998, S. 11) oder von archaischem *Homo sapiens*, wobei früharchaische (Bodo d'Ar, Äthiopien, ca. 600000 bp) und spätarchaische (ab ca. 300000 bp, u. a. Laetoli, Tansania, 300000–200000, und der Ileret-Schädel vom Turkana-See in Kenia, beschrieben 1992 von BRÄUER, LEAKEY und MBUA, der nach neueren Messungen rund 259000 Jahre alt ist) Formen unterschieden werden (BRÄUER 2003, S. 40ff.).

23 FRIED 2004, S. 149; GRUPE et al. 2005, S. 46f. (Omo I und Omo II in Äthiopien, ca. 130000 bp – der sogenannte *Homo sapiens idaltu* aus Herto, Äthiopien, der 2003 entdeckt wurde und auf ca. 160000 bp datiert wird, ist in seiner Zuweisung strittig); BRÄUER 2003, S. 46 (mit etwas höherer Datierung).

24 In Israel ist er bereits lange vorher nachgewiesen in der Qafzeh-Höhle bei Genezareth in Gestalt von mindestens 11 Individuen (ca. 100000 bis 90000 bp) sowie in der Skhul-Höhle bei Haifa (ca. 90000 bp), wo er übrigens vor dem Neandertaler auftaucht, mit dem er mehrere Jahrzehnttausende gemeinsam existierte (GRUPE et al. 2005, S. 47, vgl. auch BRÄUER 2003, S. 46 [ca. 100000 bp]); vgl. generell CANN et al. 1987 und REICHHOLF 2003, S. 120.

25 BRÄUER 2003, S. 42 mit Hinweisen auf Arbeiten von N. CONARD, M. BOLUS und P. MELLARS; vgl. auch GRUPE et al. 2005, S. 47. Die bedeutenden Höhlenmalereien u. a. von Altamira und Lascaux sind ein besonders eindrucksvolles Zeugnis für diese Spezies, repräsentieren allerdings bereits einen späteren Entwicklungsstand der Spezies, gleichsam einen *terminus ante quem*, vgl. HEUSS 1979, S. 162f. – Man nimmt an, daß spätestens vor 40000 Jahren auch die Sprachfähigkeit voll ausgebildet war (so TRABANT 1997, S. 597). Dabei scheint es sich um eine Exaptation gehandelt zu haben, weil schon vor 600000 Jahren, bei *Homo heidelbergensis*, ein verlängerter Rachenraum (*Pharynx*) mit tiefer gelegener Kehlkopf (*Larynx*) und entsprechender Krümmung der Schädelbasis festzustellen ist. Der seinerzeitige Vorteil (bessere Atmung?) ist unklar, doch war diese Form später für die Ausbildung des Sprechapparates hilfreich (FISCHER 2003, S. 363). Nach TATTERSALL 2002 (S. 60) ergab sich bereits vor rund 70000 bis 60000 Jahren eine „kulturelle Neuerung in irgendwelchen menschlichen Populationen, die das schon lange schlummernde Potential für abstraktes Denken im menschlichen Gehirn aktivierte“ und sich durch kulturelle Evolution schnell ausbreitete, und das war „ziemlich sicher“ die „Erfindung der Sprache“ (ebenda, S. 62); zur Evolution der spezifischen Merkmale von *Homo sapiens* siehe generell GRUPE et al. 2005, S. 55ff.

sischen Ausstattung auch gehören und von dem wir uns genetisch nicht grundsätzlich, sondern nur auf Grund von „epigenetischen Faktoren“ (SINGER 2003, S. 303) unterscheiden, kurz gesagt, um uns: „Die Menschen, die wir kennen und mit denen wir es in der Geschichte zu tun haben, sind nun einmal so gebaut, wie wir sie und uns vorfinden.“²⁶ Dieser Mensch ist nun, auch und gerade aus historischer Sicht, ganz entschieden ein *animal sociale*, wie mit der klassischen Anthropologie schon ARISTOTELES festgehalten hat. Er ist dies bei weitem nicht allein, aber doch in einem anderen Sinne als etwa ein Bienenstaat, ein Wolfsrudel oder ein Schimpansenclan. Nicht daß Menschen sich nicht gelegentlich so verhielten wie jene – als Jägerhorde oder als imperiale Großmacht –, aber sie haben ein weiteres Spektrum von Möglichkeiten.

Der Mensch ist nämlich – auch biologisch gesehen – ein *animal sociale* in einem ganz besonderen Sinne, ja auf einer anderen Ebene. Gerade auch seine „soziale Organisation“ ist „ein einzigartiges, spezialstypisches Merkmal“ (GRUPE et al. 2005, S. 61). R. LEWIN (1987, S. 62) spricht sogar von „übertriebene(r) Sozialität“. Diese ist nun mit der Gehirnentwicklung genau verbunden. Der Zusammenhang von sozialer Einbettung und zerebraler Formierung ist also entscheidend. Denn die spezifische Qualität von *Homo sapiens*, seine „Autapomorphie“ (GRUPE et al. 2005, S. 54, 60), kommt besonders in dem Volumen, der Qualität, der Struktur und vor allem der Plastizität seines Gehirns zum Ausdruck,²⁷ also darin, daß sich Wesentliches epigenetisch abspielt.²⁸ Das ist gleichsam die moderne Variante der klassischen Vernunftbegabtheit.²⁹ Die Masse des Gehirns ist zwar schon bei der Geburt beachtlich,³⁰ aber die gesamte Struktur und die unerhörte Komplexität seiner Arbeitsweise, mithin seine eigentliche Qualität, bildet es nur in der sozialen Interaktion aus und in Wechselwirkung und Rückkopplung mit seiner gesamten Umwelt. Andere Lebewesen bedürfen ebenfalls einer postnatalen Komplettierung, in unterschiedlichem Maße. Beim Menschen jedoch ist diese wesentlich entscheidend. Er wird erst richtig Mensch nach seiner Geburt, man könnte geradezu sagen, daß ein Potential realisiert wird, ohne daß lediglich ein Programm abläuft. Die Optionen sind im Grunde – in dem genetisch gesteckten Rahmen – grenzenlos,³¹ sowohl in dem, was erblich-individuell angelegt ist, als auch erst recht in dem, was sich im Leben selbst, je nach den sozialen Einbindungen, ergeben kann.

Man könnte also auch sagen, daß das vor allem von PORTMANN analysierte extra-uterine Frühjahr bzw. die „sekundäre Altrizialität“ des Menschen (GRUPE et al. 2005, S. 271) genau die Funktion, wenn man so will, den Sinn hat, das Gehirn möglichst rasch dem interaktiven Kontakt auszusetzen, denn sein „Reifungsvorgang“ wird „weitgehend von der Sozialstruktur mitbestimmt“ (PORTMANN 1956, S. 109f.). Erst so formt sich sein Gehirn und wird er der

26 HEUSS 1973, S. 164; nach PORTMANN 1956, S. 12, handelt es sich um die „volle Eigenart der Reifeform“, bei der die biologische Evolution zu einem Ende gekommen ist (ebenda, S. 24) – und übrigens damit auch die „Brauchbarkeit“ der Interpretation durch die Evolutionstheorie. Generell vgl. auch SINGER 2003, S. 302f.

27 Hierzu siehe besonders SINGER 2003, S. 308ff.; vgl. generell CHANGEUX 2003; GRUPE et al. 2005, S. 19 (mit Literaturhinweisen); HOCHHUTH 2005, S. 746f. Auch molekularbiologisch, also in der Genaktivität, zeigen sich markante Unterschiede zu anderen Primaten, siehe FISCHER 2003, S. 362 (mit Hinweis auf Arbeiten u. a. am Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie in Leipzig; siehe ENARD et al. 2002).

28 Vgl. neben den vorangehenden Angaben auch CRAMER 1997b, S. 418; TATTERSALL 2002, S. 62; und HOCHHUTH 2005, S. 751 (das Gehirn als Instrument, das gespielt werden muß). Entsprechendes gilt für die Sprache mit ihrem „Zusammenspiel von Natur und Gesellschaft“ (TRABANT 1997, S. 596, vgl. TATTERSALL 2002).

29 Vgl. SINGER 2003, MOHR 2004, S. 282; aber auch schon PORTMANN 1956, S. 13, 43ff.

30 Nach PORTMANN hängt davon auch sein körperlicher Umfang sowie die Größe des Kopfes wie die Disparität des Verhältnisses von Kopf und Körper in Relation zum Erwachsenen und im Vergleich mit anderen Säugern zusammen.

31 Zur Vielfalt vgl. PLESSNER 1961, S. 37, 85.

Mensch. Es ließe sich dann auch zeigen, wie andere körperliche Spezifika, besonders der aufrechte Gang, der Gebrauch der Hände, die Koordination von Sehen und Greifen usw. in eben dieser Phase und in eben diesem Zusammenhang stehen, wie das in der Feinmotorik der Finger sowie der Gesichtsmuskulatur und mit dem offenbar zunächst damit zusammenhängenden Spracherwerb³² allmählich komplexer wird, wie sich an die primäre eine sekundäre Sozialisation anschließt, die wiederum gesellschaftliche Kommunikation mit psychophysischen, zerebralen und somatischen Vorgängen verbindet. Dies alles ist weit jenseits meiner Zuständigkeit, aber zum Teil gut erforscht.³³ Ich möchte lediglich darauf hinweisen, daß verschiedene menschliche Gemeinschaften solche Entwicklungsgänge und -schübe durchaus aufmerksam wahrgenommen und gestaltet haben, daß sie also ein gewisses Verständnis davon hatten. Das gilt vor allem für den Schritt von der primären zur sekundären Sozialisation (PORTMANN 1956, S. 88) und für die Geschlechtsreife,³⁴ Etappen die beispielsweise in einem dem Athener SOLON zugeschriebenen Gedicht (Fragment 27 in WEST 1971) in Sieben-Jahres-Schritten markiert sind. In der Regel haben die jeweiligen Gesellschaften solche Sprünge mit bestimmten sozialen Akten, insbesondere mit Übergangsritualen, begleitet, aber auch geprägt.

Im einzelnen war etwa der Zeitpunkt der Geschlechtsreife selbst innerhalb gleichzeitiger Gesellschaften desselben kulturellen Milieus, etwa im antiken Griechenland, durchaus unterschiedlich. Es zeigt sich hier sehr deutlich, daß die natürlichen Entwicklungsphasen auch sozial konnotiert waren (ZOEPPFEL 1985) und daß sich dies wiederum auch physisch auswirkte. Am Beispiel ritualisierter Homosexualität, die gerade im Zusammenhang von Reifung und Formung bedeutsam war, besonders in Sparta und auf Kreta, läßt sich dies sehr gut rekonstruieren. Wie genau man um diese Zusammenhänge bereits seinerzeit wußte, mag eine Äußerung des atomistischen Philosophen DEMOKRIT (B 33 in DIELS und KRANZ 1952) demonstrieren, der bemerkte: „Die Natur (*physis*) und die Erziehung (*didache*) sind etwas Ähnliches. Denn die Erziehung formt zwar den Menschen um (*metarysmoi*), aber durch diese Umformung (*metarysmousa*) schafft sie Natur (*physiopoiei*).“³⁵ Nach der soziologischen Theorie P. BOURDIEUS (1987, besonders S. 104ff.) handelt es sich um einen Habitus, der sich nicht nur psychisch-normativ, sondern auch körperlich auswirkt. Dieser beruht seinerseits auf der Prägung der jeweiligen Individuen durch ihr soziales Umfeld bzw. die in diesem herrschenden Traditionen und Praktiken.

Zu dem Potential, das die Natur dem Menschen mitgab, muß mithin auch die Fähigkeit zur Gemeinschaftsbildung und zum Gemeinschaftsleben, eine, sagen wir, Sozialfähigkeit gehört haben, nebst allem, was diese ausmacht und was zu ihr dazu gehört, also etwa auch eine reziproke Moral. „Die sozietäre Lebensform und die daraus resultierende moralische Kompetenz sind“ – so HANS MOHR (2004, S. 280) – „in uns genetisch verankert“.

Vergleichbare Fähigkeiten finden sich bis zu einem gewissen Grade auch bei höheren Primaten. Sie werden dementsprechend auch in der Phylogenese von *Homo sapiens* wichtig gewesen sein. Auch dieser Aspekt der menschlichen Evolution – ein mehr als spannendes und derzeit mit immer neuen Entdeckungen und Hypothesen aufwartendes Feld – kann hier nicht

näher erörtert werden.³⁶ Klar ist, daß sich auf der Ebene der Hominiden bereits charakteristische Elemente über sehr lange Zeiträume hinweg herausgebildet haben, etwa Werkzeuggebrauch und aufrechter Gang;³⁷ und all dies hatte, in verschiedener Hinsicht, soziale Komponenten.

Offensichtlich scheint mir aber auch zu sein – und das wird unterstrichen durch die Tatsache des im Verhältnis zur vorangehenden Entwicklung sehr schnell erreichten evolutionären Totalerfolges (vgl. MOHR 2004, S. 282) –, daß mit *Homo sapiens* eine neue Qualität erreicht wurde. Man könnte von einem Sprung von der Quantität zur Qualität sprechen³⁸ oder – wohl noch passender – von Emergenz.³⁹ Die qualitative Differenz fällt um so mehr ins Gewicht, wenn man die große Nähe der genetischen Ausstattung von Menschen und Schimpansen vergleicht.

Der entscheidende Unterschied scheint nun zunächst gerade im Bereich der sozialen Interaktion zu liegen (vgl. REICHHOLF 2003, S. 123). Ich folge hier der sogenannten „theory of mind“ (vgl. SINGER 2003, S. 304f.) und im besonderen M. TOMASELLO, der als die dem Menschen eigentümliche, zwischen dem 10. und dem 13. Lebensmonat faßbare Fähigkeit die Gabe bezeichnet, „to identify with conspecifics in ways that enable them to understand those conspecifics as intentional agents like the self, possessing their own intentions and attention, and eventually to understand them as mental agents like the self, possessing their own desires and beliefs“ (TOMASELLO 1999, S. 202). TOMASELLO ist damit PLESSNER ziemlich nahe, der in diesem Zusammenhang von „Reziprozität“ spricht (PLESSNER 1961, S. 59f.) und gerade hierin die Voraussetzung für die dem Menschen eigentümliche Fähigkeit der „Verdinglichung“ (S. 60, 62) sowie für seine „Exzentrizität“ (S. 69f.) – und damit ein Proprium von *Homo sapiens* sieht. Schon KANT hatte sehr treffend von „teilnehmender Antizipation“ gesprochen.⁴⁰ Ich würde dieses Vermögen Empathie bzw. Empathiefähigkeit nennen. Es ist ganz offensichtlich die Voraussetzung dafür, daß die eben erwähnte Prägung des Gehirns samt den anderen Fähigkeiten ganz besonders effektiv und rasch verläuft, daß mithin der qualitative Unterschied herauskommt und damit letztlich der evolutionäre Erfolg. Daß sich der Mensch auf diese Weise, gleichsam umgekehrt, „nur im Umweg über andere und anderes als ein Jemand hat, gibt [also] der menschlichen Existenz in Gruppen ihren institutionellen Charakter“ (PLESSNER 1961, S. 71).

Damit aber ist der Mensch zugleich von seiner Natur her ganz besonders offen für das, was aus der Gruppe – in Kreisen größerer oder geringerer Nähe – auf ihn einwirkt, so offen, daß er es sich vollkommen zu eigen machen kann. Was aber da auf ihn trifft, dient nicht nur seiner physischen und psychischen Komplettierung, sondern seiner gesamten Orientierung in der Welt. Dabei handelt es sich nun weniger um physische als, in wachsendem Maße, um kulturelle Phänomene. Die natürlichen Voraussetzungen für die Gemeinschaft, die er mitbringt, führen beim Menschen in einzigartiger Weise zu kulturellen Prägungen. Diese sind von Anfang an wirksam und damit an der Gestaltung des plastischen Gehirns beteiligt, und sie blei-

36 Hinweise bei GRUPE et al. 2005, S. 22ff. und zu den späteren Phasen siehe oben Anm. 22–26.

37 Zum „Strukturzusammenhang“ von aufrechtem Gang, Auge-Hand-Feld und Werkzeuggebrauch vgl. PLESSNER 1961, S. 56f. und jetzt SINGER 2003, S. 301.

38 Zur Bedeutung und zu den Konsequenzen solcher Veränderungen vgl. KAMPER 1997, S. 89 mit Hinweis auf E. MORIN.

39 So etwa SINGER 2003, S. 301 (als Schritt zur „kulturellen Evolution“), entsprechend TATTERSALL 2002, S. 61f. PORTMANN nannte das „veränderte Lebensform“ (PORTMANN 1956, S. 12) und gab für diesen Sprung auch ontologie phylogenetische Indizien (ebenda, S. 13).

40 Zitiert nach FETSCHER 2005, S. 799 mit Anm. 184; vgl. auch GEHLEN zum Ich (HEUSS 1979, S. 143).

32 Zum „Auge-Hand-Feld“ siehe schon PLESSNER 1961, S. 56ff., ferner TRABANT 1997, S. 596, 605f., vgl. auch NEUWEILER 2005.

33 Zu den neurologischen Voraussetzungen siehe SINGER 2003, S. 303 mit Anm. 1 und vgl. oben Anm. 27 zum Gehirn.

34 Zur Bedeutung des „pubertären Wachstumsschubes“ als Spezifikum – schon PORTMANN hatte dies unterstrichen, siehe oben – siehe jetzt GRUPE et al. 2005, S. 60, 285f.; zu den Reifungsphasen generell ebenda, 273f.

35 Vgl. aus ganz moderner Sicht SINGER 2003, S. 305.

ben es über die primäre und die sekundäre Sozialisation hinweg: lebenslanges Lernen (SINGER 2003, S. 303; GRUPE et al. 2005, S. 430ff.). So wird die kulturelle Prägung dem Gehirn eingeschrieben – und sie kann sich dann sogar phänotypisch auswirken (SINGER 2003, S. 305).⁴¹ Gerade diese Kapazität ist die entscheidende biologische Voraussetzung für die Entfaltung einer spezifischen kulturellen Entwicklung, weil der Mensch hier in den „Kausalneus der Natur“ eingreift.⁴²

Das geht natürlich nicht gleichförmig vor sich, und die jeweiligen Engramme sind dementsprechend unterschiedlich ausgeprägt und infolgedessen neurophysiologisch repräsentierbar. Gerade komplexe Prägungen lassen sich allerdings – bisher jedenfalls – nicht nachweisen. Das heißt aber nicht, so hat selbst Wolfgang SINGER (2003, S. 305) betont, daß sie nicht existent, nicht reale Größen sind: „Die kulturellen Konstruktionen sind ebenso wirklich wie die vorkulturellen Realitäten.“

Hier sind wir an einem zentralen Punkt, nämlich beim Bewußtsein. Gerade in seiner Existenz kommt die mit *Homo sapiens* verbundene Emergenz zum Ausdruck. Es gibt ganz offensichtlich ein Reservoir von Bildern und Vorstellungen (vgl. VOLLMER 2003, S. 277), das im Kontext der erwähnten Prägungen entsteht und mit dem jeweils neue Wahrnehmungen und Eindrücke in im einzelnen sehr komplexen Vorgängen abgeglichen, akzeptiert oder abgestoßen, gespeichert oder verändert werden. Dabei sind viele verschiedene, auch mit ‚niedrigeren‘ und affektiven Aktivitäten verbundene Hirnregionen beteiligt (SINGER 2003, S. 312). Das Bewußtsein, das wir primär als ein Element von Rationalität verstehen, ist insofern beeinträchtigt – übrigens wohl durchaus in einer der Existenz und ihrer Sicherung eher förderlichen Weise. Aber es läßt sich durchaus als solches begreifen und bezeichnen. Wir fassen es vor allem in der Fähigkeit zum symbolischen Denken, d. h. in der Fähigkeit, Gegenständliches in einem nicht-sinnlichen Sinne zu verstehen, in dem man schon lange die Basis von Kultur und damit des Humanum gesehen hat. Es handelt sich letztendlich um ein *imaginaire*, das dem Menschen eben bewußt ist, an dem er sich als bewußt handelndes Lebewesen orientiert. Mit CASSIRER (1996, S. 58) könnte man von einer „Bedeutungswelt“ sprechen, in der sich der Mensch mit seinem symbolischen Denken, vom Mythos bis zur Mathematik, bewegt, oder zugespitzt, mit Max WEBER, von „nomologischem Wissen“⁴³ oder ganz allgemein, mit HEUSS (1973, S. 165ff.), von „Sinndimensionen“.

Jedenfalls geht es um das Reich der Deutung, Normierung und Gestaltung. Es ist nicht ohne weiteres mit unseren Mitteln physisch nachweisbar, aber eine Realität *sui generis*.⁴⁴ Das kann einem schon etwas unheimlich vorkommen, aber es kennzeichnet das Denken: In ihm sind die Dinge nicht direkt greifbar, sondern als Gedachtes, etwa als Klassifiziertes (CASSIRER 1996, S. 109). Das zeigt sich auch bei der Wirkung von Bildern oder von bloß Vorgestelltem, die der einer realen Wahrnehmung oder Erfahrung nahekommt. Wir kennen ein vergleichbares Phänomen aus der Wissenssoziologie, wie dies P. BERGER und T. LUCKMANN schon vor einiger Zeit in ihrem einflußreichen Buch *The Social Construction of Reality*⁴⁵ gezeigt haben: Auch und gerade in der sozialen Welt gibt es die sogenannte „Verdinglichung“. Vorstellungen, die für die Existenz von Gemeinschaften wichtig sind, z. B. der Gedanke einer Ver-

wandtschaft ihrer Mitglieder untereinander und mit den Vorfahren, werden so sehr reifiziert, daß man sie für die Realität selbst hält. Was essentiell ist, wird essentialisiert. Ein solches „gesellschaftliches Bewußtsein“ (CASSIRER 1996, S. 338) wirkt sich dann aber ebenso aus, als sei es die Realität, das lediglich Imaginierte gewinnt einen entsprechenden Charakter: Es gilt als real und ist damit real.

Wenn wir es aber mit solchen kulturell dimensionierten Horizonten zu tun haben, dann wird man ohne weiteres zugeben, daß zu ihrer Erforschung ein eigenes Organon nötig ist, ein Organon, mit dem etwa Sinn und Bedeutung erfahrbar und erfäßbar sind (CASSIRER 1996, S. 297). Wir müssen diesen Bereich als eigenständige Größe behandeln, objektiv wie subjektiv, als Gegenstand menschlichen Denkens und als unser Instrument, diesen zu erschließen, immer mit dem Wissen darum, daß wir damit über die Dinge selbst nicht unmittelbar verfügen – es sei denn, wir wollten hinter KANT oder wenigstens DEWEY zurückfallen. Beim Bergwandern mag man noch mit festem Schuhwerk auskommen, aber wenn es ans Klettern geht, sind daneben wenigstens teilweise Steigeisen, Pickel und Seil angebracht. In diesem Sinne, denke ich, müssen Geisteswissenschaften – und nicht zuletzt die Geschichte (siehe hierzu CASSIRER 1996, S. 267, 269, 291, 297, 313f.) – genuiner Bestandteil einer integralen und damit dem Gegenstand einzig adäquaten Anthropologie sein.

Dies sei im letzten Teil noch konkretisiert, und damit beginne ich einmal mehr mit der für den Menschen und die individuelle Menschwerdung so wichtigen Gemeinschaft. Dabei denkt man zuerst an das natürliche Ambiente, Eltern und Kinder, die Kernfamilie, dazu die weiteren Gliederungen, Sippen, Clans usw. Bereits hier finden sich beachtliche Unterschiede vor dem Hintergrund diverser Übereinstimmungen und der daran anknüpfenden Ermittlung allgemeiner Regeln. Bei denen ist es durchaus strittig, wieweit sie Universalien bezeichnen, die man doch erwarten würde, wenn es um genetische Prägungen ginge. Doch selbst wenn man mit dem französischen Ethnologen C. LÉVY-STRAUSS solche Universalien im Bereich familiärer Konstellationen annimmt, so bleibt angesichts von dessen Beobachtungen, etwa zum Inzesttabu, festzuhalten, daß in diesen Konstellationen die sozial bestimmten Regeln den physischen prävalieren können, auch wenn sie erhebliche physische Bedeutung haben (LÉVY-STRAUSS 1981).

Es ist darüber hinaus erwiesen, daß Gemeinschaften nicht allein physisch gegeben, sondern auch als solche im Gehirn repräsentiert sind. Und das gilt nicht zuletzt für den Bereich jenseits engerer Verwandtschaftsverbände. Man spricht geradezu von „imagined communities“ (ANDERSON 1993). Es ist eine gut begründete und vielfach belegbare Auffassung der Soziologie, Ethnologie und Geschichtswissenschaft, daß eben solche Gemeinschaften „verdinglicht“ sind (GEHRKE 2005, S. 35ff.). Sie gelten als physisch bedingt, auch wenn sie das nicht sind. Aber mit ihnen sind Ideen und Verpflichtungen verbunden, bis hin zur fest verankerten Bereitschaft, für sie zu töten oder zu sterben. Der moderne Nationalismus liefert dafür ein nicht selten trauriges Exempel. Denn diese Art von Gemeinschaftsbildung mit diesen Dimensionen ist nicht zuletzt spezifisch menschlich, und immer wird dabei essentialisiert. Man sieht das auch am sogenannten Nationalcharakter. Es handelt sich um einen höchst heiklen Begriff, aber wir nehmen ihn immer wieder als Tatsache und orientieren uns daran.

Nun ist jede Gemeinschaft zwingend auf Tradition angewiesen, denn nur so kann sie über die individuelle Lebensspanne der ihr Angehörigen hinausreichen, also als solche überhaupt erst Bestand haben (GEHRKE 2003). Gerade darin liegt die Relevanz der erwähnten Sozialisation. Die kollektive Identität ist also an eine *mémoire collective* gebunden wie die des Individuums an seine Biographie. Diese kollektive Erinnerung kann sich auf einem einfachen Ni-

41 Zur Rückwirkung auf Biologisches gerade kraft der Plastizität siehe auch HOCHHUTH 2005, S. 751.

42 So N. HARTMANN, zitiert nach HOCHHUTH 2005, S. 747. Dies hat im übrigen erhebliche Konsequenzen für die Debatte über die Willensfreiheit, siehe HOCHHUTH 2005, S. 747ff.

43 Das Konzept ist plastisch beschrieben bei MEIER 1988, S. 43ff.

44 Nach MOHR 2005, S. 32 handelt es sich sogar um eine „ontologische Kategorie sui generis“.

45 Die deutsche Ausgabe hat übrigens ein Vorwort von Helmuth PLESSNER.

veau bewegen, innerhalb der von der Natur gegebenen Lebensspannen, wo beim Menschen eine unmittelbare Überlieferung über drei Generationen hinweg möglich ist. ASSMANN (1992) spricht in diesem Rahmen von „kommunikativem Gedächtnis“. Auch Tiere, besonders Primaten, sind auf diesem Gebiet zu allerhand fähig, wenn es etwa um die Weitergabe von erworbenen Kenntnissen und Fertigkeiten geht, und das galt gewiß um so mehr auch für die Hominiden. Freilich begründet die Sprachfähigkeit schon auf dieser Ebene einen markanten Unterschied zwischen *Homo sapiens* und jenen (TRABANT 1997, S. 597). Immer aber ist hier der unmittelbare physische Kontakt nötig. Jemand muß konkret da sein, um zu tradieren, im Sinne eines *handing down*. Wenn der Großvater tot ist, weiß der Enkel nicht mehr, was der schon wußte. Es gibt normalerweise keinen sozusagen extraphysischen Speicher.

Der Mensch aber hat hier Abhilfe geschaffen, was möglicherweise mit dem besonderen Verhältnis zur Zeit zusammenhängt, das den Menschen spezifisch auszeichnet und mit der von PLESSNER betonten Exzentrizität verbunden ist. Schon Thomas HOBBS – übrigens ein bedeutender Anthropologe – hat den Menschen als das einzige Wesen bezeichnet, das „schon der künftige Hunger hungrig macht“ (REHBERG 2004). Und umgekehrt hob GEHLEN den „Hiatus zwischen den Bedürfnissen und ihrer Erfüllung“ hervor (HEUSS 1979, S. 136). Neuerdings nennt man als humanes Spezifikum, daß *Homo sapiens* zwischen Echtzeit und Nicht-Echtzeit differenzieren könne, ja müsse, um nicht dem Chaos zu verfallen.⁴⁶ Jedenfalls findet sich hier ein weiteres Charakteristikum des Menschen, das nun besonders für Historiker wesentlich ist, nämlich die Fähigkeit, über die physisch gegebene Überlieferungszeit hinaus zu gehen, mit anderen Worten, ein „kulturelles Gedächtnis“ (ASSMANN 1992) zu bilden. Dieses transzendiert das physisch Zugängliche, denn es besteht nicht nur als Erinnerung, die im individuellen Gehirn gespeichert ist, sondern auch unabhängig von diesem (auch wenn es in dieses immer wieder eingeschrieben werden kann), als Gedächtnis der Gemeinschaft. Dies ist aber nur über die Vorstellungswelt vermittelt, in der die Gemeinschaft verankert ist und von der her sie wahrgenommen wird, und existiert nicht in einer Verschaltung der Gehirne oder als kollektives Superhirn. Gerade das Imaginierte, also gleichsam nicht Physische, ist es also, das tradiert wird, und dies kann, wie wir wissen, einen extremen Grad von Komplexität haben. Insofern kann man sogar metaphorisch sagen, daß „Institutionen denken“ (EDER 1997, S. 161 mit Hinweis auf M. DOUGLAS). All dies geht, mit anderen Worten, über die physische Überlieferung hinaus. Diese Form von Gedächtnis erlaubt zugleich, das lebenslange Lernen, von dem die Rede war, über die je individuellen Lebensspannen hinaus letztlich *ad infinitum* zu verlängern. Man kann – so man will – aus der Geschichte lernen! Schließlich gipfelt das, auf einer Metaebene, in dem Bewußtsein von Geschichtlichkeit, in einem Wissen um die Verankerung in Traditionen und Prozessen der *longue durée*, die eine wesentliche Basis für das soziale Leben darstellt und bei M. HEIDEGGER und H.-G. GADAMER auch als existential-ontologische Größe gefaßt ist.⁴⁷

Die Überschreitung der physischen Formen der Weitergabe ist nicht zwingend auf außermenschliche Speicher angewiesen. Bereits in einfachen Gemeinschaften existieren lange Traditionen, die durch Gedächtnisspezialisten mündlich überliefert werden und die lange Zeiträume überbrücken können. Gerade hier wirkt sich die Sprachfähigkeit in besonderer Weise aus. Man hat in diesem Zusammenhang etwa an die Wertschätzung der oralen Weitergabe in der altindischen Kultur zu denken, an die intrafamiliäre Überlieferung der Befreiungsge-

⁴⁶ Diese Information verdanke ich Jürgen KRÜGER, Freiburg.

⁴⁷ Vgl. hierzu die Freiburger Magisterarbeit (2005) von Daniel CREUTZ: Zwischen Geschichte(n) und Gedächtnis. Paul Ricoeur als Geschichtstheoretiker. Hier S. 17.

schichte bei den Juden, an die griechischen *mnemones*, die man auch als „lebende Archive“ bezeichnet hat, oder an die Tradition des Rechts im mittelalterlichen Island. Allerdings war hier noch immer die konkrete Weiterexistenz der Gruppe nötig. Wesentlich erweitert wurde das, als mit Bild, Schrift und Monument gleichsam materiell-abstrakte Speicher genutzt wurden. Sie erlauben es uns sogar in nicht unerheblichem Maße, solche Kulturen zu erschließen, deren Kontinuität abgebrochen oder gestört ist.

Die Besonderheit solcher Traditionen liegt aber auch in deren Inhalten und Strukturen, und zwar offenbar schon recht früh in der Geschichte von *Homo sapiens*, ich bin geneigt zu sagen, von Anfang an, als Teil der vorhin erwähnten Emergenz. Wir finden sie in Gründungsmythen, die wir aus sehr alten Überlieferungen (wir reden von rund 5000 Jahren) dank der extra-humanen Speicher sowie aus Berichten über primordiale Pflanzergesellschaften kennen. Sie blicken stets aufs Ganze und bestehen aus Geschichten von der Entstehung der Welt, der Götter und der Menschen (HEUSS 1961, S. 14; MÜLLER 1987). Solche Geschichten verankern die eigene Gruppe – in der Regel ganz ethnozentrisch gleichsam die Menschen schlechthin – in dieser archetypischen Sphäre und tragen diesen Zusammenhang weiter, auch wenn sie ansonsten für die Details des vergangenen Lebens auf das kommunikative Gedächtnis angewiesen sind. Aber klar ist, daß dieses „semantische Gedächtnis“ (so FRIED 2004, S. 146) weiter trägt als das „episodische“.

Hierin liegt zunächst eine gewisse Ironie, die aber einen evolutionären Vorteil gebildet haben dürfte: Das menschliche Gedächtnis ist, wie gerade die jüngere Hirnforschung gezeigt hat und jetzt von historischer Seite wenigstens teilweise wahrgenommen wird (FRIED 2004), nicht sehr zuverlässig und vielfach beeinträchtigt. Aber darin besteht wohl gerade seine soziale Stärke. Es ist sozusagen sozial stabil, es fördert durch Kreation, Selektion und Verformung die gesellschaftliche Kohärenz. Gerade so können die großen Erzählungen über die Vergangenheit die Bilderwelt des kulturellen Gedächtnisses prägen und zum Vergessen solcher Phänomene führen, die der Gemeinschaftsbildung entgegenstehen. Jedenfalls finden wir schon in diesen elementaren Formen der gepflegten Überlieferung eine massive Verdinglichung der Gemeinschaft im Imaginären. Schon hier, in frühen Zeiten, wird erkennbar, daß der Mensch auf diese Weise „eine neue Methode gefunden [hat], um sein Wirken zu stabilisieren und ‚fortzupflanzen‘“ (CASSIRER 1996, S. 339).

Wie weit sich diese Zusammenhänge durch das sozusagen zweite *take off* unserer Spezies, die Neolithische Revolution mit ihrem Übergang von der aneignenden zur produzierenden Lebensweise, – so wichtig diese in vieler Hinsicht ist – ausgewirkt haben, ist mangels genauere Kenntnisse kaum zu sagen. Neuere archäologische Forschungen auf dem Göbekli Tepe in der östlichen Türkei, die K. SCHMIDT realisiert, scheinen eher darauf hinzudeuten, daß der Schritt im Bereich des Imaginären gar nicht sehr groß gewesen ist. In dieser Hinsicht ergeben sich offensichtlich massivere Veränderungen mit dem, sagen wir, dritten *take off*, mit dem Schritt zu den sogenannten Hochkulturen, deren Signum die institutionalisierte Herrschaft ist, also eine bereits elaborierte Form soziopolitischer Organisation, mit der die Verfügung über bestimmte Techniken, nicht zuletzt der Gebrauch der Schrift, in genuiner Verbindung steht. Dazu gehört aber auch, bei Ägyptern, Babyloniern, Chinesen, ein Verständnis für richtig große Zeiträume und die Fähigkeit, sie präzise zu messen. Das hängt mit der – religiös bestimmten – Beobachtung des Himmels als Grundlage für die Ordnung der Zeit zusammen und verbindet sich mit der Perpetuierung der sozialen Identität, eben der Herrschaft, die so als gottgewollt und dauerhaft, ja als Teil der Weltordnung erscheint. Die jüdische Kultur mit ihrer vornehmlich auf Glauben und Gottesbund und die griechische mit ihrer vornehmlich auf Ästhe-

tik und Intellektualität gegründeten Erinnerungspflege haben andere Wege der Fortexistenz und Dauer gefunden – auch über Katastrophen und Brüche hinweg. Aber die Tradition war doch immer auch und vor allem auf die Schrift gestützt.

Schließlich wäre hier noch der moderne historische Blick zu nennen, der sich von der Bindung an die Erinnerungsgemeinschaft lösen kann. Dies ist gleichsam der Beitrag des Historikers zur menschlichen Selbsterkenntnis, zu dem Zwang, sich mit sich selber auseinanderzusetzen. Auch er verdankt sich sehr stark der erwähnten Fähigkeit zur Empathie. Sie bildet, gebändigt durch den Respekt vor dem überlieferten Befund und Bestand – man spricht vom „Vetorecht der Quellen“ – und verbunden mit logischen Verfahren, das wichtigste Organon historischer Forschung, weil begründet unterstellt wird, daß *Homo sapiens Homo sapiens* bei allen Schwierigkeiten prinzipiell versteht, verstehen kann, eben als „intentional agent like the self“ (DILTHEY 1968, S. 278; HEUSS 1973, S. 193; CASSIRER 1996, S. 283, 286f.).

Dieses Organon erlaubt denn auch die Analyse und die Rekonstruktion längerer Abläufe in historischen Dimensionen. Dies ist eine genuin geschichtswissenschaftliche Aufgabe, sie wäre aber auch der Beitrag der Geschichte zu einer integralen Anthropologie, indem sie zeigen würde, wie der Wandel der jeweiligen gesellschaftlichen Kontexte die *conditio humana* beeinflußt, auch wo es um körperliche oder körpernahe Phänomene geht. Diese Optik ist gerade das Auge des Historikers für die mittlere Dimension zwischen Phylo- und Ontogenese, die in der Perspektive der Biologie, aber auch der Philosophischen Anthropologie, eher einen blinden Fleck darstellt, weil es dort um den Menschen als Gattungswesen geht. Dieses Auge schaut gerade auf die Elemente, die den Menschen kulturell prägen, die als „cultural inheritance“ anzusehen sind und die auch seinem Körper – durch Habitualisierung – und seinem Denken – durch Verdinglichung – eingeschrieben werden und partiell im Gehirn aufgespürt werden können. Es hat insbesondere die dabei je verschiedenen, aber elementar wichtigen sozialen Kontexte im Blick. Dabei zeigt sich, daß die ohnehin große Variabilität des Menschen durch das Geschichtliche noch einmal gewaltig gesteigert worden ist (PLESSNER 1961, S. 85).

Den Abläufen und Vorgängen, die dabei erschlossen werden, dem „Wandel des Beständigen“ (MARTIN 1994) gilt das besondere Interesse des Historikers. Er hat dafür seine eigenen, teilweise sehr elaborierten Konzepte zur Erfassung und Beschreibung von Entwicklungen, etwa zum Prozeßcharakter (FABER und MEIER 1978) oder zur Differenzierung zwischen beabsichtigten und nicht intendierten Konsequenzen menschlichen Handelns und zur Vermeidung oder wenigstens Reduzierung nachträglicher Sinnstiftung. Für seine Bedürfnisse hat er damit die richtigen Maßeinheiten. Es sollte demgegenüber bedacht werden, daß die Uhren der Evolution anders schlagen, wie wiederum auch die der Geologie und der Astronomie. Auch wenn wir da häufig von Geschichte sprechen und der Mensch Teil der damit jeweils bezeichneten Natur ist, handelt es sich um grundsätzlich verschiedene Dinge. Schon PORTMANN (1956, S. 22) hat die Differenz zwischen dem „Entwicklungsbegriff der organischen Naturforschung“ und dem der „historisch gerichteten Forschung“ deutlich markiert. Dahinter zurückzufallen bedeutete für ihn intellektuelle „Selbstverstümmelung“.⁴⁸

Jedenfalls gibt es genügend Hinweise darauf, daß die Regeln der biologischen Evolution – die überdies als solche auch noch Gegenstand lebhafter Debatten sind (MORRIS 2003, S. 131)

48 PORTMANN 1956, S. 21; kritisch gegenüber der Anwendung des biologischen Evolutionsbegriffs auf die Geschichte ist u. a. auch PLESSNER 1961, S. 38ff.; besonders klar äußert sich in dieser Hinsicht jetzt auch TOMASELLO 1999, 49, 216f. – Zur grundsätzlichen Kritik an der Soziobiologie vgl. auch RHEINBERGER 2003, S. 193 mit ROSE 2001, S. 263. Generell zur Differenzierung zwischen den verschiedenen „Regelbereichen“ siehe HOCHHUTH 2005, S. 750 mit Anm. 39.

und nicht im luftleeren Raum keimfreier Wissenschaft entstanden bzw. entstehen, sondern in bestimmten historisch-sozialen Konstellationen, mit denen sie in enger Wechselwirkung stehen (RHEINBERGER 2003, S. 194f.) – nicht ohne weiteres für die Kultur gelten.⁴⁹ Dies hat etwa G. THEISSEN (1984) an Hand der Entwicklung des jüdischen Glaubens, der alttestamentarischen Theologie und Ethik sowie der jüdisch-christlichen Tradition mit ihren eigenen Vorstellungen von Leben und vom Lebenswerten wie vom Altruismus exemplifiziert. In solchen Prägungen und daraus resultierenden Verhaltensweisen zwecks Rettung der Evolution auch im Bereich der Kultur eine Art List der Natur zu erkennen, ist nichts anderes als der Rekurs auf die „List der Vernunft“ in HEGELS großem Versuch, der Geschichte idealphilosophisch Sinn zu geben. Der Historiker – wie jeder Wissenschaftler – kann darin nur die Absicht erkennen, empirische Phänomene, die schwer zu deuten, aber doch einer Deutung zugänglich sind, *ex post* auf das Prokrustesbett einer allumfassenden Theorie zu zwingen, die ihren Alleinvertretungsanspruch bisher nicht empirisch erhärtet, geschweige denn schlüssig bewiesen hat.

Ein weiteres Gegenbeispiel sind wir Forscher selber. Sehen wir – mit CASSIRER (1996, S. 345) – „die Kultur als den Prozeß der fortschreitenden Selbstbefreiung des Menschen“, so gehören wir dabei zur Avantgarde. Das tun wir aber nur, weil Menschen, schlicht gesagt, auch und gerade das Nutzlose lieben, nicht weil ihre Gene ihnen bedeuten, es sei doch letztendlich nützlich für sie, sondern einfach aus Spaß und Neugier. *Homo sapiens* ist nämlich auch ein *Homo ludens* (J. HUIZINGA, vgl. BUYTENDIJK 1973), und er hat eine große Schwäche für das, was er – Nutzen hin, Nutzen her – schön, angenehm und spannend findet, also für Ästhetik und Kunst, für Rätseln und Forschen aus purer Neugier am Problem selbst, für das *thaumazein* des ARISTOTELES und die *curiositas* der Gründer der Leopoldina. Und, ehrlich gestanden, leben wir nicht selbst auch davon – jedenfalls wenn wir Grundlagenforschung betreiben und auf reinen Erkenntnisgewinn ausgerichtet sind? Unser Tun (und mindestens teilweise auch das Interesse, auf das dieses stößt) verdankt sich diesem Antrieb. Daß sich daraus – im Sinne der angewandten Forschung – nicht selten ein erheblicher Nutzen ergeben kann, steht auf einem anderen Blatt.⁵⁰ Letztlich geht es um die zweckfreie *scholè* der griechischen Philosophie, der wir bereits wesentliche Einsichten zur Definition des Menschseins verdanken. Hierzu gehört auch die Kreativität des Imaginären, in der unser Gehirn nicht zu überbieten und die insofern ebenfalls ein Proprium des Menschen ist. Nehmen wir das als Aufforderung, kreativ über Menschenbilder nachzudenken und zu diskutieren, damit auch der Individualität und der Differenz Rechnung tragend, von der hier zu wenig die Rede sein konnte, und doch immer wieder nach Gemeinsamkeiten suchend⁵¹ – und das stets im Bewußtsein der Grenzen, die uns wissenschaftliche Methodik setzt, und mit der Sensibilität dafür, daß unsere Deutungen jeweils nur in bestimmten Regelbereichen gelten.⁵² Man mag mir also nachsehen, wenn ich zu sehr *in biologicis* dilettierte, und trotzdem ernstnehmen, was ich aus historischem Blickwinkel vortragen durfte.

49 So auch SINGER 2003, S. 305. – Ein wenig differenzierter stellt sich die Evolutionäre Erkenntnistheorie dar (VOLLMER 2003), die freilich aus meiner Sicht dem Imaginären und dessen spezifischer Tradierung zu wenig Rechnung trägt; zum Evolutionsbegriff von N. LUHMANN siehe FETSCHER 2005, S. 809.

50 Ein schönes Beispiel liefert eine Lese Frucht meiner Reise nach Halle anläßlich dieses Vortrags: Jean-Paul FITOUSSI verweist (in: *Le Monde* 6. 10. 2005, S. 19) auf die virtuelle Maschine, die A. TURING zur Widerlegung von D. HILBERTS Formalismus, also innerhalb der reinen Mathematik, entwickelt hatte und mit der mathematische Grundlagen für die Informatik geschaffen wurden.

51 Vgl. auch den Appell für eine „Neurosoziologie“ bei CHANGEUX 2003, S. 27.

52 HOCHHUTH 2005, S. 750; zur Problematik von Reduktionen vgl. auch CRAMER 1997a, S. 46 und KAMPER 1997, S. 89, und zum daraus resultierenden Postulat einer ‚systemsprengenden‘ Anthropologie siehe KAMPER 1997, S. 90.

Literatur

- ANDERSON, B.: Die Erfindung der Nation. Zur Karriere eines folgenreichen Konzepts. Frankfurt (Main), New York: Campus 1993 (englische Originalausgabe: *Imagined Communities. Reflections on the Origin and Spread of Nationalism*. London: Verso Editions and NLB 1983)
- ASSMANN, J.: Das kulturelle Gedächtnis. Schrift, Erinnerung und politische Identität in frühen Hochkulturen. München: Beck 1992
- BERGER, P. L., und LUCKMANN, T.: Die gesellschaftliche Konstruktion der Wirklichkeit. Eine Theorie der Wissenssoziologie. Frankfurt (Main): Fischer 1969 (englische Originalausgabe: *The Social Construction of Reality*. Garden City, NY: Doubleday 1966)
- BÖHME, H.: Natur. In: WULF, C. (Ed.): *Vom Menschen*. Handbuch Historische Anthropologie. S. 92–116. Weinheim und Basel: Beltz 1997
- BOURDIEU, P.: Sozialer Sinn. Kritik der theoretischen Vernunft. Frankfurt (Main): Suhrkamp 1987 (französische Originalausgabe: *Le sens pratique*. Paris: Les éditions de Minuit 1980)
- BRÄUER, G.: Der Ursprung lag in Afrika. Spektrum der Wissenschaft *März 2003*, 38–46 (2003)
- BUFFON, G.-L. LECLERC, Comte DE: *A Natural History. General and Particular*. Bd. 2. London 1791
- BUYTENDIJK, F. J. J.: *Spiel von Mensch und Tier*. Berlin: Wolff 1933
- BUYTENDIJK, F. J. J.: *Allgemeine Theorie der menschlichen Haltung in Bewegung*. Berlin: Springer 1956
- BUYTENDIJK, F. J. J.: Das menschliche Spielen. In: GADAMER, H.-G., und VOGLER, P. (Eds.): *Neue Anthropologie*. Bd. 4. Kulturanthropologie. S. 88–122. München, Leipzig: Deutscher Taschenbuch Verlag, Thieme 1973
- CANN, R. L., STONEKING, M., and WILSON, A. C.: Mitochondrial DNA and human evolution. *Nature* 325, 31–36 (1987)
- CASSIRER, E.: *Philosophie der symbolischen Formen*. 3 Bde. Berlin: Bruno Cassirer 1923–1929
- CASSIRER, E.: Versuch über den Menschen. Einführung in eine Philosophie der Kultur. Hamburg: Meiner 1996 (englische Originalausgabe: *Essay on Man. An Introduction to a Philosophy of Human Culture*. New Haven: Yale University Press 1944, 2. Auflage 1972)
- CHANGEUX, J.-P.: Die Revolution in der Gehirnforschung. Spektrum der Wissenschaft *März 2003*, 22–27 (2003)
- CRAMER, F.: *Leben*. In: WULF, C. (Ed.): *Vom Menschen*. Handbuch Historische Anthropologie. S. 46–54. Weinheim und Basel: Beltz 1997a
- CRAMER, F.: *Genom*. In: WULF, C. (Ed.): *Vom Menschen*. Handbuch Historische Anthropologie. S. 417–424. Weinheim und Basel: Beltz 1997b
- DANIEL, U.: *Kompendium Kulturgeschichte. Theorien, Praxis, Schlüsselwörter*. 3. Auflage. Frankfurt (Main): Suhrkamp 2002
- DIELS, H., und KRANZ, W. (Eds.): *Die Fragmente der Vorsokratiker, griechisch und deutsch von H. Diels*, hrsg. von W. Kranz. Bd. 2. 6. Auflage. Berlin: Weidmann 1952
- DILTHEY, W.: *Der Aufbau der Welt in den Geisteswissenschaften. Gesammelte Schriften VII*. Hrsg. von B. Groethuysen. 5. Aufl. Stuttgart: Teubner 1968
- DROYSEN, J. G.: *Historik. Vorlesungen über Enzyklopädie und Methodologie der Geschichte*. Hrsg. von R. Hübner. München: Oldenbourg 1937
- EDER, K.: *Institution*. In: WULF, C. (Ed.): *Vom Menschen*. Handbuch Historische Anthropologie. S. 159–168. Weinheim und Basel: Beltz 1997
- ENARD, W., KHAITOVICH, P., KLOSE, J., ZOLLNER, S., HEISSIG F., GIAVALISCO, P., NIESELT-STRUWE, K., MUCHMORE, E., VARKI, A., RAVID, R., DOXIADIS, G. M., BONTROP, R. E., and PÄÄBO, S.: Intra- and interspecific variation in primate gene expression patterns *Science* 296, 340–343 (2002)
- FABER, K.-G., und MEIER, C. (Eds.): *Historische Prozesse*. München: Deutscher Taschenbuch Verlag 1978
- FETSCHER, J.: *Zeitalter/Epoche*. In: *Ästhetische Grundbegriffe*. Bd. 6. S. 774–810. Stuttgart, Weimar: Metzler 2005
- FISCHER, E. P.: Der Gang der Evolution. Einblicke in die aktuelle Forschung. In: FISCHER, E. P., und WIEGANDT, K. (Eds.): *Evolution. Geschichte und Zukunft des Lebens*. S. 352–365. Frankfurt (Main): Fischer 2003
- FRIED, J.: *Der Schleier der Erinnerung. Grundzüge einer historischen Memorie*. München: Beck 2004
- GADAMER, H.-G., und VOGLER, P. (Eds.): *Neue Anthropologie*. Bd. 4. Kulturanthropologie. München, Leipzig: Deutscher Taschenbuch Verlag, Thieme 1973
- GAUL, J.-P.: *Jean-Jacques Rousseau*. München: Deutscher Taschenbuch Verlag 2001
- GEHLEN, A.: *Der Mensch. Seine Natur und seine Stellung in der Welt*. Mit einer Einführung von K.-S. REHBERG. 14. Aufl. Wiebelsheim: Aula 2004 (1. Auflage. Bonn: Athenäum 1940)
- GEHLEN, A.: *Urmensch und Spätkultur. Philosophische Ergebnisse und Aussagen*. Bonn. 2. Auflage: Athenäum 1964 (1. Aufl. 1956)
- GEHRKE, H.-J.: *Anthropologie menschlicher Gemeinschaften – zwischen Kultur und Natur*. In: *Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG): DFG – Perspektiven der Forschung und ihrer Förderung*. S. 175–186. Weinheim: VCH 2002
- GEHRKE, H.-J.: Was heißt und zu welchem Ende studiert man intentionale Geschichte? Marathon und Troja als fundierende Mythen. In: MELVILLE, G., und REHBERG, K.-S. (Eds.): *Gründungsmythen, Genealogien, Memorialzeichen. Beiträge zur institutionellen Konstruktion von Kontinuität*. S. 21–36. Köln, Weimar und Wien: Böhlau 2003
- GEHRKE, H.-J.: Die Antike in der europäischen Tradition und in der modernen Geschichtswissenschaft. In: DONIG, S., MEYER, T., und WINKLER, C.: *Europäische Identitäten – Eine europäische Identität?* S. 33–51. Baden-Baden: Nomos 2005
- GRUPE, G., CHRISTIANSEN, K., SCHRÖDER, I., und WITTEW-BAKOFEN, U.: *Anthropologie. Ein einführendes Lehrbuch*. Berlin und Heidelberg: Springer 2005
- HEUSS, A.: *Einleitung*. In: MANN, G., HEUSS, A., und NITSCHKE, A. (Eds.): *Propyläen Weltgeschichte*. Bd. 1: *Vorgeschichte. Frühe Hochkulturen*. S. 11–32. Berlin: Ullstein 1961
- HEUSS, A.: *Zum Problem einer geschichtlichen Anthropologie*. In: GADAMER, H.-G., und VOGLER, P. (Eds.): *Neue Anthropologie*. Bd. 4. Kulturanthropologie. S. 150–194. München, Leipzig: Deutscher Taschenbuch Verlag, Thieme 1973
- HEUSS, A.: *Philosophische Anthropologie und der Wandel des Menschlichen: Überlegungen im Hinblick auf die Theorie Arnold Gehlens*. *Saeculum* 30, 124–186 (1979)
- HOCHHUTH, M.: Die Bedeutung der neuen Willensfreiheitsdebatte für das Recht. *JZ (Juristenzeitung)* 15/16, 745–753 (2005)
- HOFFMANN, E.: *Lexikon der Steinzeit*. München: Beck 1999
- KAMPER, D.: *Mensch*. In: WULF, C. (Ed.): *Vom Menschen*. Handbuch Historische Anthropologie. S. 85–91. Weinheim und Basel: Beltz 1997
- KANT, I.: *Anthropologie in pragmatischer Hinsicht*. Hrsg. von R. Brandt. Hamburg: Meiner 2000
- KÖHLER, W.: *Intelligenzprüfungen an Menschenaffen*. Berlin: Springer 1921
- KÖHLER, W.: *The Mentality of Apes*. New York: Harcourt, Brace & World 1925
- LÉVY-STRAUSS, C.: Die elementaren Strukturen der Verwandtschaft. Frankfurt (Main): Suhrkamp 1981
- LEWIN, R.: The origin of the modern mind. *Science* 236, 668–670 (1987)
- MARTIN, J.: Der Wandel des Beständigen. Überlegungen zu einer historischen Anthropologie. *Freiburger Universitätsblätter* 126, 35–46 (1994)
- MAUL, S. M.: *Das Gilgamesch-Epos*. Neu übersetzt und kommentiert von S. M. Maul. München: Beck 2005
- MEIER, C.: *Die politische Kunst der griechischen Tragödie*. München: Beck 1988
- MOHR, H.: Wo fängt der Mensch an? Hominisation im Lichte der Evolutionstheorie. In: NEUMAIER, O. (Ed.): *Ist der Mensch das Maß aller Dinge. Beiträge zur Aktualität des Protagoras*. S. 269–286. Möhnesee: Bibliopolis 2004
- MOHR, H.: *Strittige Themen im Umfeld der Naturwissenschaften. Ein Beitrag zur Debatte über Wissenschaft und Gesellschaft (Schriften der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Heidelberger Akademie der Wissenschaften 16)*. Berlin und Heidelberg: Springer 2005
- MORIN, E.: *Planet – Erde*. In: WULF, C. (Ed.): *Vom Menschen*. Handbuch Historische Anthropologie. S. 119–139. Weinheim und Basel: Beltz 1997
- MORRIS, S. C.: Die Konvergenz des Lebens. Sind Menschen ein unvermeidliches Ergebnis der Evolution? In: FISCHER, E. P., und WIEGANDT, K. (Eds.): *Evolution. Geschichte und Zukunft des Lebens*. S. 127–146. Frankfurt (Main): Fischer 2003
- MÜLLER, K. E.: *Das magische Universum der Identität. Elementarformen des sozialen Verhaltens*. Ein ethnologischer Grundriß. Frankfurt (Main), New York: Campus 1987
- MÜLLER-KARPE, H.: *Vorgeschichte*. In: *Der Große Ploetz*. 32. Auflage. S. 13–72. Freiburg: Herder 1998
- NEUWEILER, G.: Der Ursprung unseres Verstandes. Spektrum der Wissenschaften *Januar 2005*, 24–31 (2005)
- PLESSNER, H.: *Conditio humana*. In: MANN, G., HEUSS, A., und NITSCHKE, A. (Eds.): *Propyläen Weltgeschichte*. Bd. 1: *Vorgeschichte. Frühe Hochkulturen*. S. 33–86. Berlin: Ullstein 1961
- PLESSNER, H.: *Die Stufen des Organischen und der Mensch*. *Einleitung in die philosophische Anthropologie*. Gesammelte Werke. Hrsg. von G. Dux, O. Marquard und G. Ströker. Bd. 4. Frankfurt (Main): Suhrkamp 1981
- POHLENZ, M.: *Stoa und Stoiker. Die Gründer – Panaitios – Poseidonios*. Eingeleitet und übertragen von M. Pohlenz. Zürich und Stuttgart: Artemis 1950
- PORTMANN, A.: *Zoologie und das neue Bild des Menschen*. Biologische Fragmente zu einer Lehre vom Menschen. Hamburg: Rowohlt 1956
- REHBERG, K.-S.: *Anthropologie der Plastizität und Ordnungstheorie*. Einführung in die 14. Auflage von Arnold Gehlens *Der Mensch*. In: GEHLEN, A.: *Der Mensch. Seine Natur und seine Stellung in der Welt*. Mit einer Einführung von K.-S. Rehberg. 14. Aufl. (ohne Seitenzählung) Wiebelsheim: Aula 2004
- REICHHOLF, J. H.: Das Rätsel der Menschwerdung. Entscheidende Stufen in der Evolution des Menschen. In: FISCHER, E. P., und WIEGANDT, K. (Eds.): *Evolution. Geschichte und Zukunft des Lebens*. S. 102–126. Frankfurt (Main): Fischer 2003
- RHEINBERGER, H.-J.: Die Politik der Evolution. Darwins Gedanken in der Geschichte. In: FISCHER, E. P., und WIEGANDT, K. (Eds.): *Evolution. Geschichte und Zukunft des Lebens*. S. 178–197. Frankfurt (Main): Fischer 2003
- ROSE, M. R.: *Darwins Schatten*. Stuttgart, München: DVA 2001

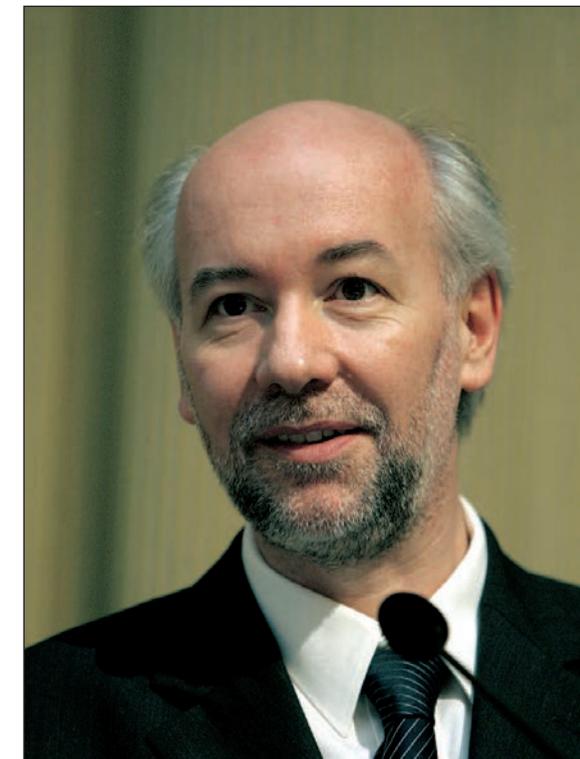
- ROUSSEAU, J.-J.: Discours sur l'origine et les fondemens (*sic*) de l'inégalité parmi les hommes. Amsterdam: Marc Michel 1755
- SCHULER, M.: Die Stellung des Menschen im Kosmos. Gesammelte Werke. Bd. 9. Hrsg. Von M. FRINGS. Bern und München: Franke 1976
- SINGER, W.: Die Evolution der Kultur. Eine neurobiologische Perspektive. In: FISCHER, E. P., und WIEGANDT, K. (Eds.): Evolution. Geschichte und Zukunft des Lebens. S. 301–323. Frankfurt (Main): Fischer 2003
- SNOW, C. P.: Die zwei Kulturen. Stuttgart: Klett 1987
- TATTERSALL, I.: Wie der Mensch das Denken lernte. Spektrum der Wissenschaft *April 2005*, 56–63 (2002)
- THEISSEN, G.: Biblischer Glaube in evolutionärer Sicht. München: Kaiser 1984
- TOMASELLO, M.: The Cultural Origins of Human Cognition. Cambridge (MA), London: Harvard University Press 1999
- TRABANT, J.: Sprache. In: WULF, C. (Ed.): Vom Menschen. Handbuch Historische Anthropologie. S. 595–608. Weinheim und Basel: Beltz 1997
- UEXKÜLL, J. J. VON: Theoretische Biologie. 2. Auflage. Berlin: Springer 1928
- VOLLMER, G.: Wieso können wir die Welt erkennen? Zur Evolution des Erkenntnisvermögens. In: FISCHER, E. P., und WIEGANDT, K. (Eds.): Evolution. Geschichte und Zukunft des Lebens. S. 274–300. Frankfurt (Main): Fischer 2003
- WEIZSÄCKER, V. VON: Der Arzt und der Kranke. Stücke einer medizinischen Anthropologie. Gesammelte Schriften Bd. 5. Bearbeitet von P. ACHILLES. Frankfurt (Main): Suhrkamp 1987
- WEST, M. L. (Ed.): Iambi et Elegi Graeci ante Alexandrum cantati, edidit M. L. WEST. Bd. 2. 2. Auflage. Oxford: Oxford University Press 1971
- YERKES, R. M.: The Great Apes. New Haven: Yale University Press 1929
- YERKES, R. M.: Chimpanzees. A Laboratory Colony. New Haven: Yale University Press 1943
- ZOEPFTEL, R.: Geschlechtsreife und Legitimation zur Zeugung im Alten Griechenland. In: MÜLLER, E. W. (Ed.): Geschlechtsreife und Legitimation zur Zeugung (Historische Anthropologie 3). S. 319–401. Freiburg und München: Alber 1985

Prof. Dr. Hans-Joachim GEHRKE
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg (i. Br.)
Seminar für Alte Geschichte
Kollegiengebäude I
Werthmannplatz
79085 Freiburg (i. Br.)
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 761 2033390
Fax: +49 761 2033413
E-Mail: Hans-Joachim.Gehrke@geschichte.uni-freiburg.de

Vom Urknall bis zur Bildung von Planetensystemen

Ralf BENDER (München)

Mit 7 Abbildungen



Zusammenfassung

Unser Universum entstand vor ca. 14 Milliarden Jahren. Zeit und Raum in der uns bekannten Form existierten erst nach 10^{-43} s. Alle heutigen Strukturen entstanden vermutlich aus winzigen Quantenfluktuationen, die in einer sogenannten ‚inflationären‘ Phase nach ca. 10^{-36} s zu makroskopischen Dichteschwankungen aufgebläht wurden. Diese vereinigten sich hierarchisch zu immer größeren Strukturen und bildeten im Laufe der Zeit Galaxien, Sterne und Planeten. Das heutige Universum besteht aus 4% ‚normaler‘ baryonischer Materie, 26% Kalter Dunkle Materie, 70% Dunkler Energie und Photonen und Neutrinos im Sub-Prozent-Bereich. Das Universum hat damit eine flache Geometrie, eine unterkritische Dichte und expandiert beschleunigt. Alle Elemente schwerer als Lithium wurden in Sternen aus den primordialen Elementen Wasserstoff und Helium fusioniert. Vor allem Sternexplosionen (Supernovae) verteilen die fusionierten Elemente im Raum und reichern damit das interstellare Gas an, aus dem sich dann wieder die nächste Generation Sterne bildet. Viele Sternenerationen waren notwendig, um die gegenwärtige Häufigkeit schwererer Elemente zu erzeugen. Planeten scheinen nur um Sterne gebildet zu werden, die einen ausreichend hohen Anteil an schwereren Elementen aufweisen ($> 1\%$ in der Masse, ähnlich wie in der Sonne). Extrasolare Planetensysteme sind wahrscheinlich wesentlich variantenreicher, als es die Struktur des Sonnensystems und die darauf aufbauenden einfachen Theorien nahelegten. Leben konnte sich vermutlich nur in relativ wenigen Planetensystemen entwickeln, dennoch dürfte es insgesamt gesehen viele ‚bewohnte‘, d. h. biologisch aktive Planeten geben.

Abstract

Our Universe was formed about 14 billion years ago. Space-time as we know it existed only after 10^{-43} s. All present-day structures presumably originate in tiny quantum fluctuations which grew to macroscopic density fluctuations during the so-called ‚inflationary phase‘ that occurred around 10^{-36} s after the big bang. These density fluctuations merged hierarchically to ever larger structures and eventually formed galaxies, stars and planets. The universe today consists of 4% ‚normal‘ baryonic matter, 26% Cold Dark Matter, 70% Dark Energy, and photons and neutrinos on the sub-percent level. Consequently, the universe has flat geometry, sub-critical density and its expansion is accelerating. All elements heavier than Lithium were synthesized in stars based on the primordial elements hydrogen and helium. Particularly stellar explosions (supernovae) distributed the fused elements in space and enriched the interstellar gas. From this pre-enriched gas the next generation of stars was formed. Many generations of stars were needed to create the current abundance of heavier elements. Planets only seem to exist around stars which show a sufficiently high abundance of heavier elements ($> 1\%$ by mass, similar to what is found in the sun). Extrasolar planetary systems are in general more diverse than the structure of the solar system and the simple formation theories based on it suggested. Life could presumably only develop in few planetary systems. Nevertheless, we can expect that overall many biologically active planets do exist.

1. Einleitung

Unser Universum entstand vor ungefähr 14 Milliarden Jahren in einem unvorstellbar dichten und heißen Urknall. Die Evidenz hierfür ist überwältigend und wird durch zahlreiche Beobachtungen gestützt. In diesem Vortrag werde ich die wichtigsten Entwicklungen der letzten Dekade zusammenfassen. Über diesen Zeitraum hat sich unser Erkenntnisgewinn drastisch beschleunigt. Viele kosmologische Größen, die wir vor 10 Jahren nur auf einen Faktor 2 genau kannten (wie z. B. die Expansionsrate des Universums oder seine Materiedichte und Komposition), können wir heute mit einer Genauigkeit von unter 10% messen.

Zu den wichtigsten Erkenntnissen der letzten Dekade gehören außerdem:

- die systematische Analyse der Struktur- und Galaxienentwicklung von einer Milliarde Jahre nach dem Urknall bis heute;
- die wichtige Rolle der Dunklen Materie und supermassereicher schwarzer Löcher bei diesem Prozeß;
- die Entdeckung der sogenannten Dunklen Energie, die eine beschleunigte Expansion unseres heutigen Universums verursacht; sowie
- *last-not-least*, der sichere Nachweis von extrasolaren Planeten und die Beobachtung entstehender Planetensysteme.

2. Das sehr frühe Universum, Inflation und der Ursprung der vier Grundkräfte¹

Zeit und Raum nach unserem Verständnis existierten frühestens nach ca. 10^{-43} s. Was davor passierte (so es ein ‚davor‘ im Sinne unseres Zeitbegriffs gab), entzieht sich bisher der rigorosen Analyse, da sich der extreme Anfangszustand ohne eine Vereinigung der beiden fundamentalen Theorien der modernen Physik, der Allgemeinen Relativitätstheorie und der Quantenfeldtheorie, nicht beschreiben läßt. Diese Vereinigung der beiden Theorien, die auch eine Vereinigung aller Naturkräfte in eine einzige fundamentale Ur-Kraft impliziert, ist bisher nicht gelungen und ist nach wie vor eine der wichtigsten Aufgaben der modernen Physik.

Nach 10^{-43} s spaltet sich die Ur-Kraft in zwei Kräfte: die *Gravitation*, die durch die Allgemeine Relativitätstheorie beschrieben wird, und die sogenannte *große vereinheitlichte Kraft*, die mittels der Quantenfeldtheorie erfaßt wird und die anderen drei heute bekannten Kräfte (starke, schwache und elektromagnetische Kraft) in einer Theorie vereinheitlicht. Ab diesem Zeitpunkt können wir zumindest eine annähernde physikalische Beschreibung der Geschehnisse im Universum wagen.

Nach ca. 10^{-36} s sinkt die Temperatur des Universums auf 10^{28} K (entsprechend 10^{15} GeV). Die große vereinheitlichte Kraft spaltet sich nun aufgrund einer sogenannten spontanen Symmetriebrechung auf in die *starke Kraft*, die die Atomkerne zusammenhält, und die *elektroschwache Kraft*, die für Atomzerfälle und alle elektromagnetischen Phänomene verantwortlich ist. Vermutlich geht auf diesen Zeitpunkt die Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie zurück, die ursächlich dafür ist, daß das Universum heute von normaler Materie dominiert wird. Ohne diese Asymmetrie, die anfänglich sehr klein war (auf 10^9 Antiteilchen kamen 10^9+1 Teilchen), würde das Universum heute wahrscheinlich keine Materie, sondern nur Strahlung enthalten.

¹ Literatur zu diesem Kapitel siehe REES 1999, RYDEN 2003, GUTH und KAISER 2005.

Während die spontane Symmetriebrechung in starke und elektro-schwache Kraft voranschreitet, wird das Universum vermutlich zwischenzeitlich durch eine sogenannte negative Vakuum-Energiedichte dominiert. Diese führt nach den Gleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie zu einer exponentiellen Expansion (= Inflation). Das Universum wird um einen Faktor in der Größenordnung von 10^{40} aufgebläht. Die inflationäre Phase wurde Anfang der 1980er Jahre von GUTH, LINDE und anderen postuliert, um einige der größten Probleme des klassischen Urknall-Modells zu lösen (z. B. GUTH und KAISER 2005). In der Tat kann die Inflation unter anderem erklären, warum der kosmische Mikrowellenhintergrund so extrem homogen ist (siehe unten), warum das Universum annähernd flache Geometrie aufweist² und, mindestens genauso wichtig, woher die makroskopischen primordialen Dichtefluktuationen kommen, aus denen dann später Galaxien, Sterne und Planeten entstanden. Im inflationären Modell sind diese makroskopischen Dichtefluktuationen nichts anderes als extrem aufgeblähte mikroskopische Quantenfluktuationen aus der Vorinflationsphase! Die gesamte Vielfalt der Welt, wie wir sie heute kennen, ist also letztendlich auf kleine Schwankungen auf subatomarer Skala während der Anfangsphase des Urknalls zurückzuführen.

Nach ca. 10^{-12} s trennen sich schließlich die *schwache Kraft* und die *elektromagnetische Kraft*, wobei dies nach heutigem Kenntnisstand vermutlich ohne gravierende Auswirkungen auf das Expansionsverhalten des Universums bleibt. Die weitere Entwicklung des Universums wird nun von den vier Grundkräften dominiert, die uns auch heute noch bekannt sind, d. h. Gravitation, starke Kraft, schwache Kraft und elektromagnetische Kraft. Allerdings gibt es zu diesem Zeitpunkt noch nicht die Elementarteilchen, aus denen unsere Umwelt heute aufgebaut ist. Protonen und Neutronen, die die Vielfalt der chemischen Elemente und damit erst Chemie und Biologie ermöglichen, existieren noch nicht, sondern sind noch in ihre Konstituenten, die Quarks, zerlegt.

3. Die Entstehung der primordialen Elemente³

10^{-5} s nach dem Urknall fällt die Temperatur des Universums unter 10^{13} K, und es ist nun ‚kalt‘ genug, daß Protonen und Neutronen aus der Quarksuppe ‚ausfrieren‘ können. Zu diesem Zeitpunkt hatte das gesamte heute sichtbare Universum eine Größe von nur ca. einem Kilometer! Bevor sich nun die ersten chemischen Elemente aus Protonen und Neutronen bilden können, muß die Temperatur deutlich unter die Bindungsenergie des Deuteriumkerns sinken, die etwa 10^9 K entspricht. Dies geschieht ungefähr hundert Sekunden nach dem Urknall. Protonen und Neutronen verschmelzen dann zunächst zu Deuterium (^2H) und dann hauptsächlich weiter zu regulärem Helium (^4He) und geringen Mengen leichtem Helium (^3He) und Lithium (^7Li). Dies sind die primordialen Elemente. Schwerere Elemente können sich im frühen Universum nicht mehr bilden, weil seine Dichte nach ca. drei Minuten schon zu gering ist, um den sogenannten Tripel- α -Prozeß in Gang zu setzen. Bei diesem werden drei ^4He -Kerne über den instabilen Zwischenkern Berillium ^8Be zu Kohlenstoff ^{12}C verschmolzen; ^{12}C wird aber als Ausgangsprodukt für die Fusion aller schwereren Elemente benötigt.

² In eine zweidimensionale Welt übertragen, entspricht der flachen Geometrie eine Ebene. Eine gekrümmte Geometrie wäre dagegen z. B. die Oberfläche einer Kugel.

³ Literatur zu diesem Kapitel siehe SILK 1996 und RYDEN 2003.

Nach den ersten drei Minuten kommen somit die Umwandlungsprozesse zwischen den Atomkernen vorerst zum Erliegen. Erst etwa 100 Millionen Jahre später werden die ersten Gaswolken unter der Schwerkraftwirkung der Dunklen Materie (siehe unten) kollabieren und Sterne bilden, die in ihrem Inneren den Tripel- α -Prozeß und höhere Fusionsreaktionen, bis hin zu Eisen, in Gang setzen können.

Die nach der primordialen Nukleosynthese vorhandenen chemischen Elemente (und die später daraus noch fusionierten schwereren Elemente) tragen heute nur ca. 4% zur Massen- bzw. Energiedichte des Universums bei. Der Rest besteht aus sogenannter Dunkler Materie und Dunkler Energie, auf die wir weiter unten zu sprechen kommen.

4. Der Mikrowellenhintergrund⁴

Der Plasmazustand aus freien Elektronen, H- und He-Kernen bleibt ca. 300000 Jahre lang erhalten. Danach hat sich das Universum aufgrund seiner Expansion auf unter 4000 K abgekühlt, und die Elektronen werden von den H- und He-Kernen eingefangen. Das Universum geht in einen neutralen Zustand über, und die Photonen können sich nun ungehindert ausbreiten. Im heute beobachtbaren kosmischen Mikrowellenhintergrund (CMB = *Cosmic Microwave Background*) sehen wir genau diese Photonen, die 300000 Jahre nach dem Urknall entstanden.

Während das Universum damals von gleißend hellem, rötlichem Licht gleichmäßig erfüllt war, führte seine weitere Expansion dazu, daß aus diesen roten Photonen heute Mikrowellen-

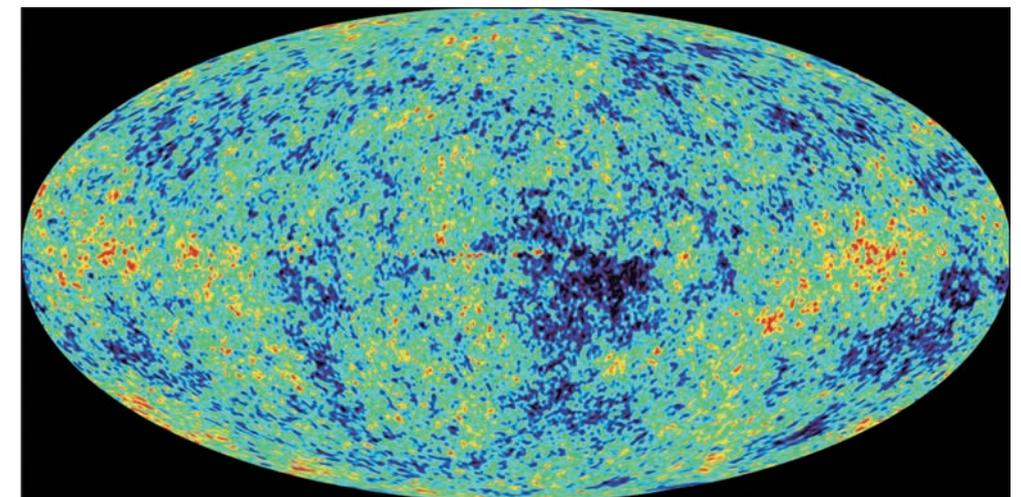


Abb. 1 Gesamthimmelskarte der Temperaturschwankungen des Mikrowellenhintergrundes. Der Temperaturunterschied zwischen blauen und violetten Gebieten entspricht etwa 0,01 Promille der mittleren Temperatur von 2,7 K. Der Mikrowellenhintergrund spiegelt den physikalischen Zustand des kosmischen Wasserstoff- und Helium-Plasmas etwa 300000 Jahre nach dem Urknall wider (Copyright NASA/WMAP Science Team).

⁴ Literatur zu diesem Kapitel siehe RYDEN 2003, SPERGEL et al. 2003, WRIGHT 2003.

photonen geworden sind, deren Energie einer Temperatur von 2,7 K entspricht. Diese Photonen liefern uns somit einen ersten und äußerst wertvollen Schnapsschuß aus der Frühphase des Universums.

Zunächst ist festzustellen, daß der CMB sehr homogen ist und die Photonen des CMB aus allen Richtungen nahezu die gleiche mittlere Energie (oder Temperatur) aufweisen. Dies ist der beste Beweis für die sehr gute Homogenität des Universums auf großen Skalen, die ohne die Vorgeschichte der Inflation praktisch nicht zu verstehen ist.

Schaut man sich die Temperatur des CMB allerdings genauer an, wie dies die Satelliten COBE und WMAP in den letzten 15 Jahren getan haben, so stellt man kleine Schwankungen in der Temperatur von etwa 0,01 Promille fest (Abb. 1). Diesen Temperaturschwankungen entsprechen ähnlich große Dichteschwankungen in der Verteilung der Atomkerne und Elektronen. Letztenendes handelt es sich hierbei um nichts anderes als Schallwellen, die sich im Plasma ausbreiten und die ursprünglich auf die Quantenfluktuationen der vor-inflationären Phase zurückgehen.

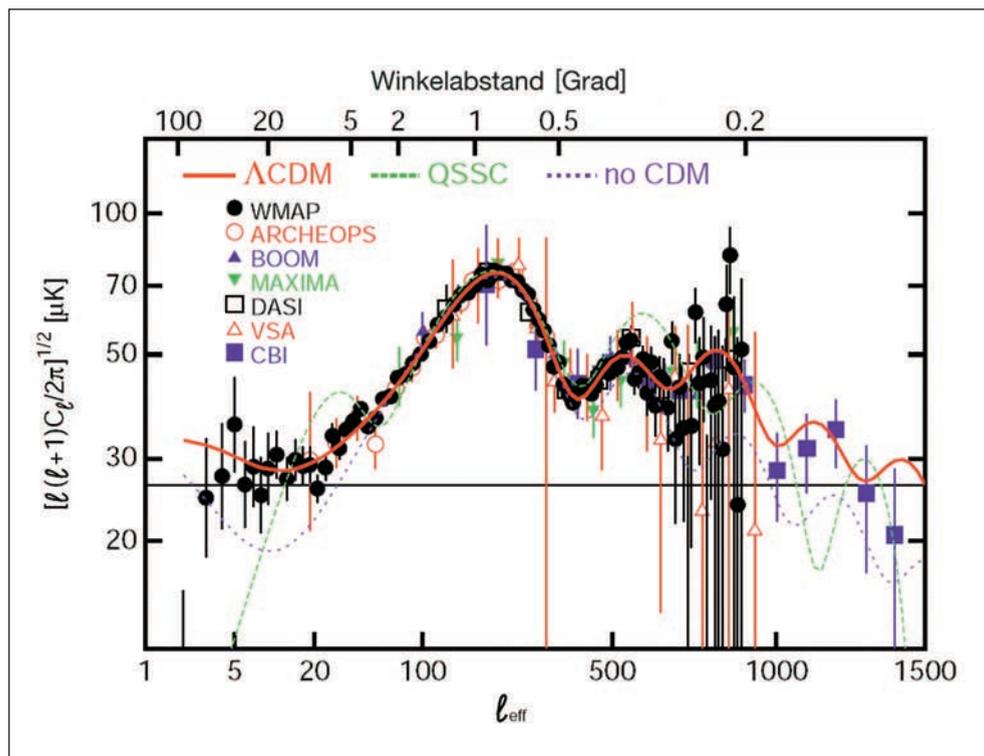


Abb. 2 Das Leistungsspektrum des Mikrowellenhintergrundes (hier bezeichnet mit $[\ell(\ell+1)C_\ell/2\pi]^{1/2}$) gibt die Stärke der Temperaturschwankungen (in μK) als Funktion des Abstandes an. Die Schwankungen sind bei einem Winkelabstand am Himmel von etwa einem Grad am stärksten. Dies entspricht der maximalen Distanz, die eine Schallwelle im kosmischen Plasma bis 300000 Jahre nach dem Urknall zurücklegen konnte. Die rote Kurve entspricht einem Modell mit etwa 4% baryonischer Materie, 26% Dunkler Materie und 70% Dunkler Energie. (Copyright Ned Wright.)

In dem Zeitraum zwischen Urknall und Entstehung des Mikrowellenhintergrundes konnten sich diese Schallwellen nur über eine Entfernung von einigen hunderttausend Lichtjahren ausbreiten. Dies entspricht heute am Himmel einem projizierten Abstand von etwa einem Grad. Aus diesem Grund zeigt das Leistungsspektrum des CMB (Abb. 2) ein sehr deutliches Maximum auf dieser Skala. Da es wie bei normalen Schallwellen auch zu Obertönen im CMB kommt, findet man zusätzlich sekundäre Maxima bei kleineren Skalen. Die genaue Lage und die relative Stärke der Maxima enthalten detaillierte Informationen über die physikalischen Eigenschaften des Universums und die seine Expansion bestimmenden Parameter. Der CMB konnte uns die bisher genaueste Bestimmung des Materieinhalts des Universums liefern und zeigen, daß das Universum eine flache Geometrie aufweist.

Zusammen mit weiteren Beobachtungen, insbesondere der Messung der heutigen Expansionsrate des Universums (Hubble-Konstante), der Bestimmung der Materiedichte (siehe Abschnitt 5) und der Beschleunigung der Expansion (siehe Abschnitt 6) können wir heute die wichtigsten globalen Parameter des Universums mit einer Genauigkeit bestimmen, die vor zwei Jahrzehnten noch kaum vorstellbar war.

5. Dunkle Materie⁵

Erste Hinweise für die Existenz Dunkler Materie gab es bereits in den 1930er Jahren; seit den 1980er Jahren sind sich die Astrophysiker praktisch sicher, daß insbesondere die Eigenschaften von Galaxien und Galaxienhaufen nicht ohne einen hohen Anteil Dunkler Materie erklärt werden können.

Sowohl durch den Mikrowellenhintergrund als auch durch die Beobachtung von Galaxienhaufen ist es gelungen, das Massenverhältnis von Dunkler Materie zu normaler Materie genau zu bestimmen.

In Galaxienhaufen zeigt sich die Existenz der Dunklen Materie besonders deutlich durch die Gravitationslinswirkung, die die Haufen auf leuchtschwache Hintergrundgalaxien ausüben. Diese werden als spektakuläre Lichtbögen abgebildet (Abb. 3). Ohne Dunkle Materie könnte dieses Phänomen gar nicht entstehen, weil die Masse in den Galaxien allein dafür zu gering ist. Je weiter außen die Lichtbögen liegen, desto mehr Materie befindet sich innerhalb des von ihnen umschlossenen Gebietes. Aus dem Vergleich der Masse leuchtender Materie (d. h. galaktisches und intergalaktisches Gas, Sterne in den Galaxien) mit der Masse, die benötigt wird, um die Lichtbögen zu erzeugen, leitet man ab, daß es in Galaxienhaufen mindestens fünfmal mehr Dunkle Materie als leuchtende Materie geben muß. Die Resonanzmaxima im Mikrowellenhintergrund liefern für das Massenverhältnis von Dunkler zu normaler Materie einen Wert von etwa 6.

Wie sich überraschenderweise zeigt, ist die Dunkle Materie keine überflüssige Beigabe zum Materieinhalt des Universums, auf die man verzichten könnte und die den Theoretikern nur Kopfzerbrechen bereitet: Denn ohne Dunkle Materie gäbe es weder Galaxien noch Sterne und Planeten im Universum! Berechnet man die Strukturentstehung aus den kleinsten Anfängen, so wie sie sich in den kleinen Temperaturschwankungen des Mikrowellenhintergrundes widerspiegeln, so stellen wir fest, daß die Schwerkraft der normalen Materie allein nicht ausreichen würde, um den Kollaps der primordialen Gaswolken zu Galaxien zu bewirken. Nur

⁵ Literatur zu diesem Kapitel siehe SILK 1996, OSTRIKER und STEINHARDT 2003, ZIOUTAS et al. 2004.



Abb. 3 Der Galaxienhaufen Abell 2218 befindet sich in einer Entfernung von etwa 2 Milliarden Lichtjahren (Aufnahme mit dem *Hubble Space Telescope*). Die gelblichen elliptischen Galaxien sind Mitglieder des Galaxienhaufens. Die bläulichen und rötlichen Bögen sind Hintergrundgalaxien, die durch den Gravitationslinseneffekt stark verzerrt abgebildet werden. Die Galaxien des Haufens alleine würden keine Bögen erzeugen. Nur durch das Vorhandensein von Dunkler Materie können die Bögen erklärt werden. (Copyright NASA, STScI)

durch die zusätzliche Schwerkraft der Dunklen Materie kann die normale Materie kollabieren und Galaxien bilden. Aus diesem Grund sind auch alle Galaxien und Galaxienhaufen in Halos aus Dunkler Materie eingebettet.

Woraus könnte die Dunkle Materie bestehen? Ursprünglich dachte man, daß Neutrinos geeignete Kandidaten wären. Allerdings hat sich gezeigt, daß die dunklen Materieteilchen langsam (d. h. ‚kalt‘) sein müssen, damit sie auf Galaxien-Skala klumpen können, wie es die Beobachtungen erfordern. Neutrinos sind dagegen heiße Teilchen und haben, wie wir seit den neuesten Messungen an Sonnenneutrinos wissen, auch zu geringe Masse, um den hohen Anteil von Dunkler Materie im Universum zu erklären.

Die plausibelsten Kandidaten für die Dunkle Materie sind heute die sogenannten supersymmetrischen Teilchen, deren Existenz im Rahmen der modernen Elementarteilchentheorie vorhergesagt wird. Diese Teilchen entkoppelten schon wenige Sekundenbruchteile nach dem Urknall von der normalen baryonischen Materie. Seit diesem Zeitpunkt machen sie sich nur noch über ihre Gravitation bemerkbar. Außerdem sind sie ‚kalt‘. Sie erfüllen damit alle Randbedingungen, die die astrophysikalischen Beobachtungsergebnisse an die Natur der Dunklen Materie stellen.

Bisher ist es allerdings noch nicht gelungen, diese Teilchen der Kalten Dunklen Materie im Labor nachzuweisen. Es gibt aber intensive Bemühungen, die äußerst seltenen Stöße zwischen Dunkle-Materie-Teilchen und normaler Materie z. B. in ultrakalten Kristallen in gut abgeschirmten Untergrundlabors zu detektieren.

6. Dunkle Energie⁶

Die vielleicht wichtigste Entdeckung des letzten Jahrzehnts war die beschleunigte Expansion des Universums. Eine mögliche Ursache hierfür könnte eine neue Form von Energie sein, die sogenannte Dunkle Energie.

Wäre das Universum nur mit normaler und Dunkler Materie angefüllt, müßte deren Gravitationswirkung die Expansion stetig abbremsen. Diesen Effekt kann man überprüfen, in dem man Lichtquellen gleicher Helligkeit bei verschiedenen Entfernungen beobachtet. Die Astrophysiker benutzen hierzu die sehr leuchtkräftigen Supernova-Explosionen, die auf eine Normhelligkeit geeicht werden können und somit als ‚Standardkerzen‘ bezeichnet werden. Im Vergleich zu einem gleichförmig expandierenden Universum, sind die Entfernungen in einem abgebremsten Universum (dem erwarteten ‚Normalfall‘) bei gleicher Rotverschiebung kleiner. Tatsächlich ergaben aber die Messungen, z. B. von RIESS et al. (2004), daß die Helligkeiten deutlich stärker mit der Rotverschiebung abnehmen, als dies selbst bei gleichförmiger Expansion der Fall wäre. Die Entfernungen sind also deutlich größer als erwartet (Abb. 4), was nur durch eine beschleunigte Expansion erklärt werden kann. Was aber könnte die Ursache dieser Beschleunigung sein? Alle Materieformen, die wir kennen, sowohl die normale Materie unserer Umwelt als auch die Dunkle Materie, unterliegen der Gravitation und würden eine Abbremsung der Expansion des Universums bewirken.

Eine mögliche Erklärung für die beschleunigte Expansion wäre EINSTEINS Kosmologische Konstante. Sie wurde von EINSTEIN 1917 *ad hoc* eingeführt, um ein *statisches* Modell des Universums zu erhalten (EINSTEIN glaubte damals an ein unveränderliches Universum). Die Kosmologische Konstante repräsentiert eine Art Selbstabstoßung des Vakuums; ein leerer Weltraum würde sich ohne äußeres Zutun immer schneller ausdehnen. EINSTEIN benutzte also die Kosmologische Konstante, um die gegenseitige Anziehung der Materie zu balancieren und damit ein statisches Universum zu erhalten. Als Edwin HUBBLE und andere dann in den 1920er Jahren die Fluchtbewegung der Galaxien und damit die Expansion des Universums entdeckten, bezeichnete EINSTEIN seine vormalige Einführung der Kosmologischen Konstanten als seine größte Eselei.

Die moderne Quantenfeldtheorie hat allerdings erkannt, daß das Vakuum tatsächlich negative Energiedichte und damit eine abstoßende Wirkung haben kann. Die Dunkle Energie könnte demnach der Grundzustandsenergie des quantenmechanischen Vakuums entsprechen. Das Problem ist nur, daß der Wert dieser ‚natürlichen‘ quantenmechanischen Energie ca. 10^{120} Mal größer ist, als es der beobachteten Kosmologischen Konstanten entspricht.

Alternative Erklärungen der beschleunigten Expansion wurden in Form neuartiger, weitgehend heuristisch motivierter Teilchenfelder vorgeschlagen (z. B. Quintessenz-Feld). Je nach Konstruktion werden diese Felder ein anderes Expansionsverhalten erzeugen als eine Kosmologische Konstante und sind damit von dieser durch detaillierte Beobachtungen zu unterscheiden. Bisher deuten allerdings alle, zugegebenermaßen aber noch sehr ungenauen, Messungen darauf hin, daß eine Kosmologische Konstante das Expansionsverhalten gut beschreibt.

Das Problem der ‚Dunklen Energie‘ ist sicher eines der grundlegendsten, wenn nicht sogar *das* fundamentalste Problem der modernen Physik. Es weist uns hinaus über unsere gegenwärtigen Theorien und könnte Schlüssel zu völlig neuen Erkenntnissen sein.

⁶ Literatur zu diesem Kapitel siehe KIRSHNER 2003, LEIBUNDGUT 2005, RIESS et al. 2004.

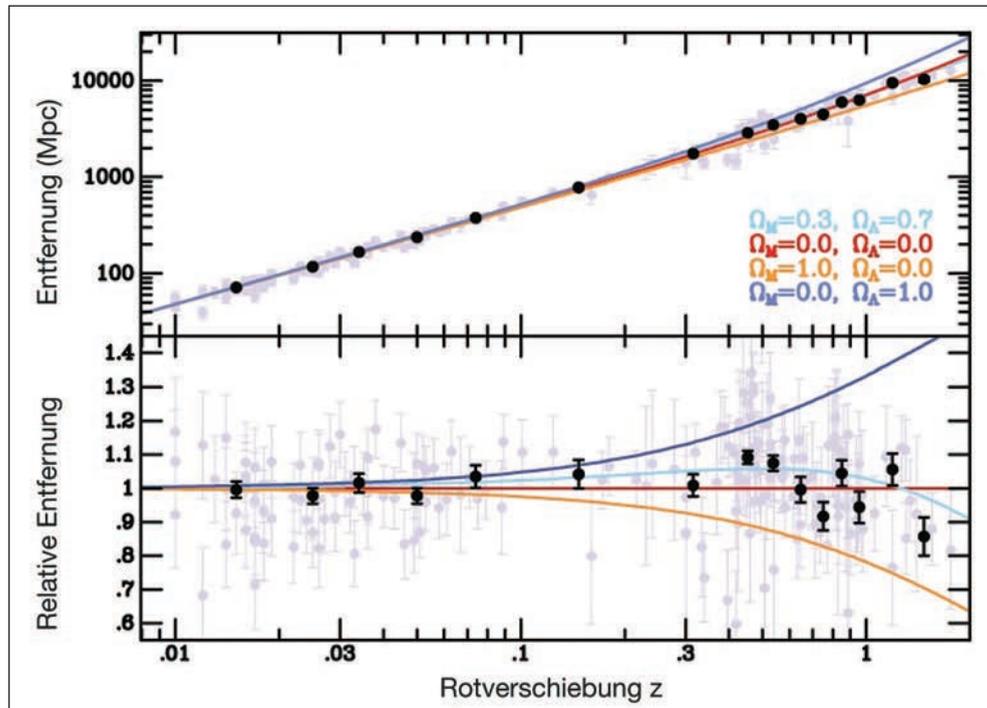


Abb. 4 Die aus Supernova-Beobachtungen bestimmte Relation zwischen Entfernung in Mpc (1 Mpc ~ 3 Millionen Lichtjahre) und Rotverschiebung z . Im Falle einer beschleunigten Expansion nehmen die Entfernungen mit der Rotverschiebung schneller zu als im Falle der gebremsten Expansion. Die Daten bevorzugen eine beschleunigte Expansion (hellblaue Kurve im unteren Diagramm) bei Rotverschiebungen unterhalb von etwa 1. Das alte Standardmodell, nach dem das Universum flach und ausschließlich mit Materie angefüllt ist (orange Kurve) ist klar ausgeschlossen. Die rote und dunkelblaue Kurve repräsentieren unrealistische Grenzfälle: rot: ein vollständig leeres Universum, blau: eines, das nur Dunkle Energie enthält. (Copyright Bruno LEIBUNDGUT, Daten von RIESS et al. 2004).

Kombiniert man die Analysen des Mikrowellenhintergrunds, der Supernova-Helligkeiten und der Masse von Galaxienhaufen, so erhält man für die Zusammensetzung des heutigen Universums folgende Werte: 4% ‚normale‘ baryonische Materie, 26% Kalte Dunkle Materie, 70% Dunkle Energie, sowie Photonen und Neutrinos im Promillebereich.

7. Ursprung und Entwicklung der Galaxien⁷

Mit der Bestimmung der Temperaturfluktuationen im Mikrowellenhintergrund kennen wir sehr genau die Anfangsbedingungen, aus denen sich die heutigen Strukturen im Universum, wie Galaxien und Sterne, bilden mußten. Wichtig ist dabei die Erkenntnis, daß ohne Dunkle Materie Galaxien und Sterne gar nicht hätten entstehen können. Die primordialen Fluktuationen

⁷ Literatur zu diesem Kapitel siehe SILK 1996, RENZINI und BENDER 2005, BENDER 2005.

in der normalen Materie (Wasserstoff und Helium) waren zu gering, um gegen die Expansion des Universums auf eine kritische Größe ‚anwachsen‘ zu können. Nur die Dichtefluktuationen in der Dunklen Materie waren zur Zeit der Entstehung des Mikrowellenhintergrundes schon groß genug, um einige hundert Millionen Jahre später in konzentrierte Dunkle Halos kollabieren zu können. Dabei riß die Dunkle Materie die normale Materie mit sich und ermöglichte so die Entstehung der ersten Galaxien und innerhalb dieser die Entstehung der ersten Sterne.

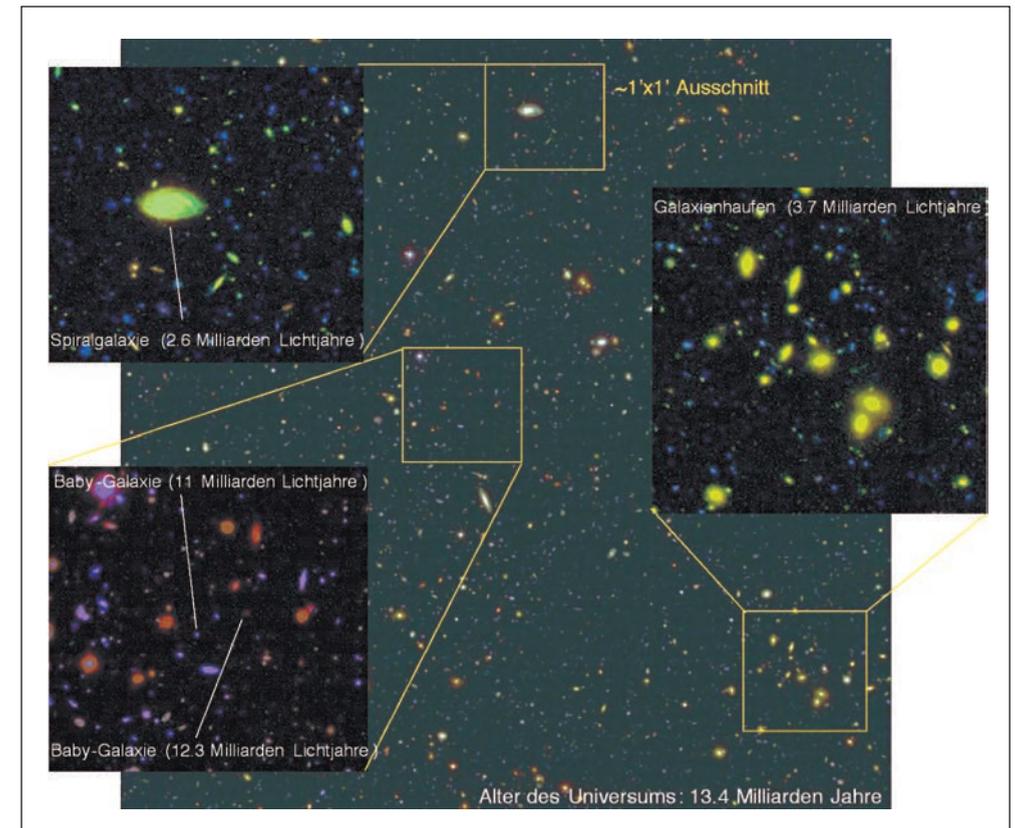


Abb. 5 Das FORS Deep Field, ein am Very Large Telescope des European Southern Observatory in Chile erhaltenes tiefes Bild eines Himmelsareals, das einem Fünftel des Vollmondurchmessers entspricht (großes Bild im Hintergrund). Das gesamte Bild enthält über 7000 Galaxien. Zur besseren Sichtbarkeit wurden drei kleinere Ausschnitte von jeweils einer Quadratbogenminute vergrößert dargestellt: *oben links*: eine Spiralgalaxie bei 2,6 Milliarden Lichtjahren Entfernung, die unserer Milchstraße ähnelt; *rechts*: ein Galaxienhaufen mit gelblichen elliptischen Galaxien in etwa 3,7 Milliarden Lichtjahren Entfernung (der allerdings nicht so massereich ist wie derjenige in Abb. 3 und deswegen Hintergrundgalaxien nicht verzerrt abbildet); und *unten links* ein Ausschnitt mit zwei sehr jungen Galaxien in Entfernungen von 11 und 12,3 Milliarden Lichtjahren zu sehen. Bei einem Alter des Universums von 13,4 Milliarden Lichtjahren können wir also den Entwicklungszustand von Galaxien bei nur 1 Milliarde Jahre nach dem Urknall untersuchen. Beispielsweise kann man aus dem Anteil von blauem Licht die Sternentstehungsrate der jeweiligen Galaxie abschätzen, das rote Licht gibt Auskunft über die Masse der alten Sterne. (Copyright R. BENDER und das Fors Deep Field Team).

Wir können heute mit modernen Großteleskopen am Boden und im Weltraum die Entstehung und Entwicklung der Galaxien direkt beobachten. Tief belichtete Galaxienfelder wie in Abbildung 5 zeigen die verschiedenen Entwicklungsstufen der Galaxien von heute bis ungefähr eine Milliarde Jahre an den Urknall heran. Aufwendige Computersimulationen helfen, die einzelnen Entwicklungsschritte nachzuvollziehen und besser zu verstehen. Es zeigt sich, daß Galaxien hierarchisch oder ‚bottom-up‘ entstehen. Das heißt, kleinere Objekte entstehen zuerst und verschmelzen zu immer größeren, genau so wie man es in einem Universum erwarten würde, bei dem die Strukturbildung durch Kalte Dunkle Materie vorangetrieben wird. Die Sternentstehung, und damit auch die Anreicherung mit chemischen Elementen, wird besonders durch Wechselwirkungen und Verschmelzungsprozesse zwischen den Galaxien getriggert. Supermassereiche schwarze Löcher, die sich schon sehr früh in den Galaxienzentren bildeten, regulieren den Sternbildungsprozeß und beeinflussen wesentlich die Ausbildung der morphologischen Vielfalt der Galaxien.

Interessant ist, daß die Sternbildungsrate in den Galaxien seit ungefähr 7 Milliarden Jahren, also seit etwa einem halben Weltalter, systematisch abgenommen hat. Heute wird im Mittel nur noch ein Zehntel der Sterne pro Jahr gebildet wie während der ersten Hälfte des Weltalters. Das könnte zum einen dadurch verursacht sein, daß immer mehr Gas in massearmen Sternen angesammelt wird, die sehr lange Lebensdauern haben (wie z. B. sonnenähnliche Sterne mit Lebensdauern von ca. 10 Milliarden Jahren). Dieses Gas wird auf Dauer dem Sternbildungszyklus entzogen, weshalb die geringere Sternbildungsrate möglicherweise zumindest teilweise auf geringere Gasvorräte zurückzuführen sein könnte. Zum anderen könnte es auch daran liegen, daß es wegen der beschleunigten Expansion zu immer weniger Wechselwirkungen und Verschmelzungen zwischen den Galaxien kommt und dadurch ein wichtiger Triggermechanismus für Sternentstehung ausfällt.

Es läßt sich auf jeden Fall festhalten, daß nach einem halben Weltalter die ‚Sturm und Drang‘-Zeit der Galaxienentwicklung vorbei war.

8. Die Entstehung von Sternen und Planeten⁸

Sterne und Planeten entstehen nach heutigem Kenntnisstand ausschließlich in Galaxien. Dort ordnet sich Gas aufgrund der Schwerkraft der Dunklen Materie zunächst in der Form einer rotierenden Gasscheibe an. Linienemission und thermische Strahlung kühlen das Gas. In der Scheibe entstehen auf diese Weise dichte Molekülwolken von einigen Hundert bis einigen Millionen Sonnenmassen. Spiralförmige Dichtewellen oder auch Wechselwirkungen mit anderen Galaxien triggern den Kollaps der Molekülwolken. Dabei fragmentieren sie in einzelne Sterne. Die Sterne zeigen dabei ein Massenspektrum, das von etwa 0,1 Sonnenmassen bis zu 100 Sonnenmassen reicht, wobei massereichere Sterne wesentlich seltener sind als massearme. Die massereichsten Sterne sind von grundlegender Bedeutung für die Synthese der chemischen Elemente. Sie durchlaufen mehrere Brennphasen, in denen alle Elemente bis hin zu Eisen synthetisiert werden. Wenn die gesamte nukleare Energie ausgeschöpft ist, kommt es zum Kollaps des Eisenkerns zu einem Neutronenstern oder schwarzen Loch. Die Hülle wird aufgrund der großen Energiefreisetzung weggesprengt. Die Helligkeit des explodierenden Sterns kann dabei die Leuchtkraft einer ganzen Galaxie erreichen, die Astrophysiker sprechen von einer Supernova. In einigen Fällen wird auch starke Gamma-Strahlung freigesetzt (*Gam-*

ma-Ray-Bursts), die über Entfernungen von Milliarden von Lichtjahren detektiert werden kann. Während der Explosion kommt es zu weiteren Fusionsreaktionen und auch zur Produktion der Elemente jenseits von Eisen. Die neu produzierten Elemente werden durch die Explosion effizient im interstellaren Medium verteilt und reichern das diffus in der Galaxie verteilte Gas mit zusätzlichen chemischen Elementen an. Wenn dieses Gas wiederum in Molekülwolken und Sterne kollabiert, beginnt der Zyklus von neuem. Man spricht hierbei vom kosmischen Materiekreislauf. Da nur ein kleiner Teil der Sterne Elemente synthetisieren kann, braucht man viele Sternenerationen, um einen nennenswerten Anteil an chemischen Elementen jenseits von Helium zu erzeugen. Nach 10 Milliarden Jahren kontinuierlicher Sternentstehung in unserer eigenen Galaxis beträgt der Massenanteil von allen Elementen schwerer als Helium daher nur knapp 2%, Wasserstoff trägt etwa drei Viertel zur Masse der normalen Materie bei, Helium etwas weniger als ein Viertel. Dies entspricht auch in etwa der Elementmischung an der Oberfläche der Sonne.

Es ist eine der vielen kosmischen Koinzidenzen, daß der Anteil an schwereren Elementen wohl gerade ausreicht, um Planeten bilden zu können. Erst bei einem Anteil von über 1% scheint die Planetenbildung überhaupt möglich zu sein.

Die Vorstellungen zur Planetenbildung haben sich in den letzten Jahren, im Lichte der Eigenschaften extrasolarer Planeten, deutlich gewandelt. Unverändert ist aber das Grundprinzip, daß sich Planeten aus einer dünnen Scheibe aus Gas und Staub bilden. Protostellare Gaswolken müssen bei ihrem Kollaps einen Großteil ihres Drehimpulses abbauen, um zu Sternen werden zu können. Dies funktioniert entweder durch die Bildung eines Doppelsternsystems (der protostellare Drehimpuls wird dabei in den Bahndrehimpuls der beiden Sterne umgewandelt) oder durch die Einbettung des Sterns in eine Scheibe, die den Drehimpuls aufnehmen und nach draußen transportieren kann. Bevor der Stern leuchtkräftig genug wird, um das Scheibengas wegzublasen, besteht ein enges Zeitfenster zur Bildung von Planeten in der Größenordnung von Millionen Jahren. Nach der gegenwärtig favorisierten Theorie schließen sich zunächst kleine Staubeilchen zu sogenannten Planetesimalen zusammen, die dann durch weitere Kollisionen schließlich zu Protoplaneten anwachsen. Bei genügend großer Entfernung zum Mutterstern können feste Protoplaneten oberhalb einer kritischen Masse (typischerweise zehn oder mehr Erdmassen) noch Wasserstoff und Helium aus der Gasscheibe aufsammeln. Sie werden zu Gasplaneten wie Jupiter oder Saturn. Die weiter innen liegenden Protoplaneten schaffen dies nicht mehr, da die zunehmende Leuchtkraft des jungen Sterns die Gasscheibe schnell auflöst. Sie bleiben damit ‚nackte‘ Steinplaneten wie Erde, Venus oder Mars.

Viele Aspekte der Planetenbildung sind noch unverstanden. Im gerade beschriebenen Modell würde man keine Gasplaneten deutlich innerhalb der Erdbahn erwarten. Tatsächlich wurden aber solche Systeme entdeckt. Entweder ist unser Modell noch unzureichend, oder aber die Gasplaneten werden bei großen Abständen geboren und schaffen es dann, nach innen zu wandern.

Die schnellen Fortschritte bei Beobachtungstechniken und numerischen Simulationen lassen hoffen, daß wir die Planetenentstehung in absehbarer Zukunft erheblich besser verstehen werden. Beispielsweise können die frühen Phasen der Planetenbildung mit mehreren komplementären Methoden untersucht werden. Die Eigenschaften des warmen Staubes in den protoplanetaren Scheiben lassen sich durch Infrarot-Beobachtungen untersuchen. Ausdehnung und Dicke der Staubscheiben erschließen sich besonders anschaulich durch Beobachtungen von jungen Sternen im Orion-Nebel, die das *Hubble Space Telescope* durchgeführt hat (siehe Abb. 6).

⁸ Literatur zu diesem Kapitel siehe ALVES und MCCAUGHREAN 2002, SANTOS et al. 2005.

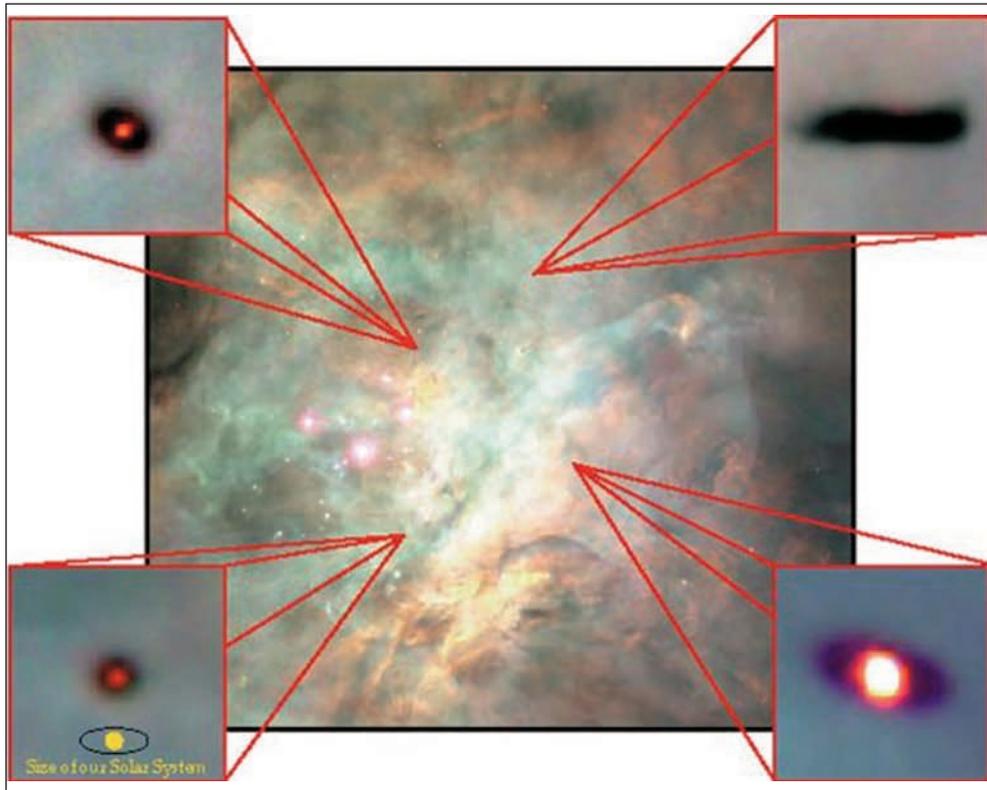


Abb. 6 Protoplanetare Staubscheiben im Vordergrund des Orion-Nebels. Der Staub in den protoplanetaren Scheiben absorbiert das diffuse Hintergrundlicht des Orion-Nebels. *Oben rechts* ist eine Scheibe von der Kante zu sehen, *unten links* eine von oben. Zum Vergleich ist die Größe unseres Sonnensystems angegeben. Aus den Staubscheiben werden sich Planeten bilden. In den Zentren der Staubscheiben sieht man Muttersterne verschiedener Helligkeit. (Copyright NASA, STScI).

9. Extrasolare Planetensysteme⁹

Die ersten extrasolaren Planeten wurden vor gerade einmal zehn Jahren gefunden. Der dadurch ausgelöste Forschungsboom hat zur Entdeckung von mittlerweile 168 extrasolaren Planeten in 144 Planetensystemen, darunter 18 Mehrfachsystemen, geführt (Stand: Oktober 2005).

Die Planeten wurden dabei nicht durch direkte Abbildung entdeckt, da der Helligkeitskontrast zwischen Sternen und Planeten so groß ist, daß ihn selbst modernste Detektoren nicht aufzulösen vermögen. Die vielversprechendsten Methoden zum Auffinden von extrasolaren Planeten sind daher indirekte Methoden. Besonders erfolgreich war bisher insbesondere die Doppler-Methode. Wenn Planeten sich um ihren Mutterstern bewegen, führt dieser eine

⁹ Literatur zu diesem Kapitel siehe LIVIO und REES 2005, SANTOS et al. 2005.

kleine periodische Reflexbewegung um den gemeinsamen Massenschwerpunkt aus. Beispielsweise umkreist die Sonne, hauptsächlich aufgrund der Schwerkraft von Jupiter, einen virtuellen Punkt, der knapp unter ihrer Oberfläche liegt. Dieses ‚Torkeln‘ führt zu einer sehr kleinen, aber meßbaren Doppler-Verschiebung ihrer Spektrallinien (Abb. 7).

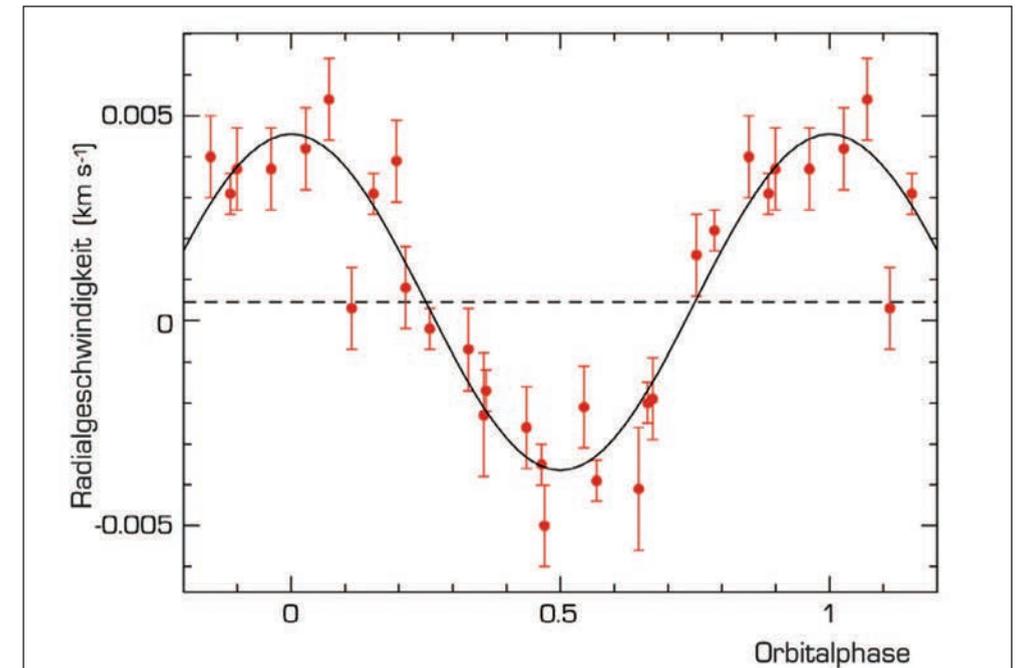


Abb. 7 Periodische Änderung der Radialgeschwindigkeit des Sterns μ Arae, wie sie durch einen Planeten von etwa 14 Erdmassen ausgelöst wird. Der Stern umkreist den gemeinsamen Schwerpunkt von Stern und Planet mit einer Geschwindigkeit von knapp 10 m/s. (Copyright European Southern Observatory).

Bei den meisten, bisher entdeckten extrasolaren Planeten ist die Reflexbewegung der Muttersterne deutlich größer als bei der Sonne. Sie wird durch jupiterähnliche Planeten verursacht, die wesentlich näher um ihre Muttersterne kreisen als Jupiter um die Sonne. Dies war die erste unerwartete, schon oben erwähnte Erkenntnis über extrasolare Planeten. Eine weitere Überraschung ist die Tatsache, daß Kreisbahnen für Planeten wohl eher die Ausnahme sind als die Regel. Viele Planeten bewegen sich auf sehr exzentrischen Bahnen. Schließlich zeigte sich, daß Sterne, deren Massenanteil an Elementen schwerer als Helium weniger als die Hälfte des Sonnenwertes beträgt, kaum noch von Planeten umgeben sind.

Unser Sonnensystem repräsentiert also nicht den Normalfall eines Planetensystems, sondern ist wohl eher das Ergebnis glücklicher Umstände. Wäre es wesentlich anders strukturiert, so hätte sich höheres Leben auf der Erde wahrscheinlich nicht entwickeln können. Kreisbah-

nen, ein erdähnlicher Planet im richtigen Abstand zum Mutterstern, ein massereicher Planet weiter draußen, der als ‚Kometen-Staubsauger‘ wirkt, ein relativ großer Mond als Regulativ für die Erdachse, all dies sind Bedingungen, die der Entstehung von Leben auf der Erde förderlich waren. Somit können wir davon ausgehen, daß trotz der Tatsache, daß ein Großteil der sonnenähnlichen Sterne wohl von Planeten umgeben ist, nur ein geringer Teil von diesen Leben hervorbringen kann. Noch geringer ist die Wahrscheinlichkeit, daß die Bedingungen auf einem Planeten über ausreichend lange Zeiträume stabil genug waren, um höheres Leben gedeihen zu lassen.

Praktisch unmöglich erscheint es, daß wir mit extraterrestrischen Lebensformen in direkten Kontakt treten können. Kritisch ist hier auch die völlig unbekannt typische Lebensdauer technischer Zivilisationen. Allerdings ist es durchaus wahrscheinlich, daß wir in den nächsten zehn bis zwanzig Jahren in der Lage sein werden, extraterrestrisches Leben zumindest nachzuweisen. Beispielsweise könnte man versuchen, eindeutig technisch erzeugte Radiosignale von extrasolaren Planeten zu detektieren (dies wurde schon im Rahmen des SETI-Programms versucht). Eine andere Möglichkeit ist ein Weltrauminterferometer, das nicht nur die Abbildung extrasolarer Planeten, sondern auch deren Spektroskopie erlaubt. Kann man in der Atmosphäre eines Planeten Ozon nachweisen, so ist dies ein nahezu untrüglisches Zeichen für biologische Aktivität. Über welchen Zeitraum wir diese Messungen verwirklichen können, ist primär eine Frage der Finanzierung, die technisch notwendigen Entwicklungen dafür sind weitgehend schon in unseren Händen oder lassen sich in wenigen Jahren durchführen.

Dank

Ich danke meinen Kollegen und Studenten für zahlreiche fruchtbare Diskussionen zu den hier behandelten Themen. Der Leopoldina danke ich für die Einladung und die Organisation einer sehr anregenden Jahrestagung.

Literatur

- ALVES, J. F., and MCCAUGHREAN, M. J. (Eds.): *The Origin of Stars and Planets*. Heidelberg: Springer 2002
- BENDER, R.: Supermassive black holes in nearby galaxy centers. In: MERLONI, A., NAYAKSHIN, S., and SUNYAEV, R. (Eds.): *Growing Black Holes*; pp. 147–153. Heidelberg: Springer 2005
- GUTH, A. H., and KAISER, D. I.: Inflationary cosmology: Exploring the universe from the smallest to the largest scales. *Science* 307, 884–890 (2005)
- KIRSHNER, R. P.: Throwing light on dark energy. *Science* 300, 1914–1918 (2003)
- LEIBUNDGUT, B.: Helle Sterne im Dunklen Universum. *Sterne und Weltraum* 5, 5 (2005)
- LIVIO, M., and REES, M.: Anthropic reasoning. *Science* 309, 1022–1023 (2005)
- OSTRIKER, J. P., and STEINHARDT, P.: New light on dark matter. *Science* 300, 1909–1913 (2003)
- REES, M.: *Vor dem Anfang: Eine Geschichte des Universums*. Frankfurt (Main): Fischer 1999
- RENZINI, A., and BENDER, R. (Eds.): *Multiwavelength Mapping of Galaxy Formation and Evolution*. Heidelberg: Springer 2003
- RIESS, A. G., STROLGER, L.-G., TONRY, J., CASERTANO, S., FERGUSON, H. C., MOBASHER, B., CHALLIS, P., FILIPPENKO, A. V., JHA, S., LI, W., CHORNOCK, R., KIRSHNER, R. P., LEIBUNDGUT, B., DICKINSON, M., LIVIO, M., GIAVALISCO, M., STEIDEL, C. C., BENITEZ, E., and TSVETANOV, Z.: Type Ia supernova discoveries at $z > 1$ from the Hubble Space Telescope. *Astrophys. J.* 607, 665–687 (2004)
- RYDEN, B. S.: *Introduction to Cosmology*. San Francisco: Addison Wesley 2003
- SANTOS, N. C., BENZ, W., and MAYOR, M.: Extrasolar planets: Constraints for planet formation models. *Science* 310, 251–255 (2005)
- SILK, J.: *Die Geschichte des Kosmos*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 1996

- SPERGEL, D. N., VERDE, L., PEIRIS, H. V., KOMATSU, E., NOLTA, M. R., BENNETT, C. L., HALPERN, M., HINSHAW, G., JAROSIK, N., KOGUT, A., LIMON, M., MEYER, S. S., PAGE, L., TUCKER, G. S., WEILAND, J. L., WOLLACK, E., and WRIGHT, E. L.: First year *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* (WMAP) observations: Determination of cosmological parameters. *Astrophys. J. Suppl.* 148, 175–194 (2003)
- WRIGHT, E. L.: The WMAP data and results. *New Astron. Rev.* 47, 877 (2003)
- ZIOUTAS, K., HOFFMANN, D. H. H., DENNERL, K., and PAPAEVANGELOU, T.: What is dark matter made of? *Science* 306, 1485–1488 (2004)

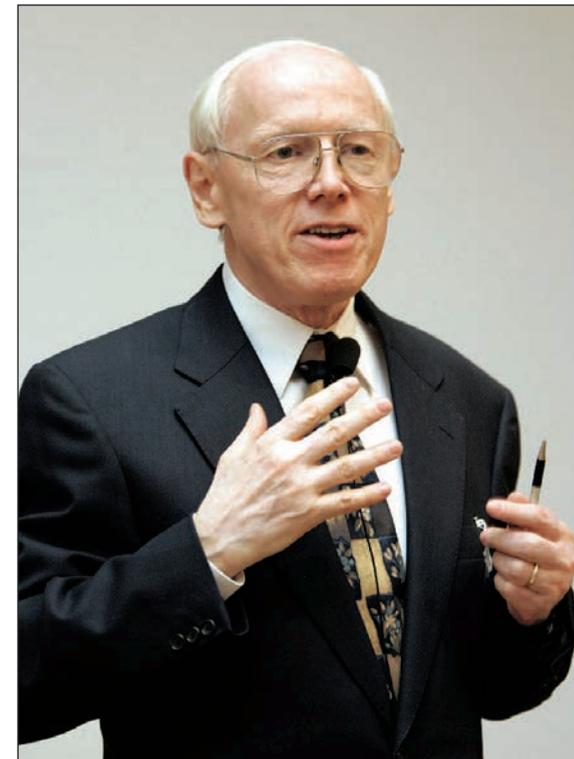
Prof. Dr. Ralf BENDER
 Universitäts-Sternwarte
 Department für Physik
 Ludwig-Maximilians-Universität München
 Scheinerstraße 1
 81679 München
 Bundesrepublik Deutschland
 Tel.: +49 89 21805999
 Fax: +49 89 21806003
 E-Mail: bender@usm.uni-muenchen.de

Max-Planck-Institut für
 Extraterrestrische Physik
 Giessenbachstraße
 85748 Garching bei München
 Bundesrepublik Deutschland
 Tel.: +49 89 300003702
 Fax: +49 89 300003351
 E-Mail: bender@mpe.mpg.de

Entstehung des Lebens in einer vulkanischen Eisen-Nickel-Schwefel-Welt

Günter WÄCHTERSHÄUSER (München)

Mit 4 Abbildungen



Zusammenfassung

Die Theorie der chemo-autotrophen Entstehung des Lebens postuliert einen primitiven Pionierorganismus, der sich einerseits drastisch von heutigen Lebensformen unterscheidet, in dem aber andererseits entscheidende Richtungen einer Höherentwicklung bereits angelegt sind. Seine Struktur-Funktions-Beziehung ist bestimmt durch einen anorganischen Unterbau und einen organischen Überbau. Aus dieser Komposit-Struktur geht später durch Lipophilisierung die Zellstruktur hervor. In den Oberflächen des anorganischen Unterbaus sind Eisen-, Nickel- und andere Übergangsmetall-Zentren sowie Sulfid-Liganden katalytisch wirksam, und daraus gehen später die Metallo-Enzyme hervor. Der organische Überbau entsteht durch Kohlenstoff-Fixierung mit dem Redoxpotential vulkanischer Exhalationen – insbesondere unter Pyritbildung oder CO-Oxidation als Triebkraft – in Form eines an die Oberflächen gebundenen Intermediär-Stoffwechsels. Aus diesem geht später ein Polymerstoffwechsel durch Energiekopplung hervor. Der Oberflächen-Stoffwechsel ist reproduktiv durch autokatalytische Rückkopplung seiner organischen Produkte als Liganden der katalytischen Metallzentren. Dies ist die Basis des direkten Anfangsmechanismus der Evolution aus dem später der indirekte Mechanismus der genetischen Maschinerie hervorgeht. So ist der spätere genetische Zufallsmechanismus eine Folge des chemischen Anfangsdeterminismus und die Höherentwicklung des Lebens durch Komplexitätssteigerung ist in der synthetischen Natur der Redoxchemie des Pionierorganismus bereits angelegt.

Abstract

The theory of chemo-autotrophic origin of life postulates a primitive pioneer organism differing drastically from extant organisms, yet forming the seed for decisive directions of an evolution to higher complexity. Its structure-function relationship is determined by an inorganic substructure and an organic superstructure. From this composite structure emerges later a cellular structure by lipophilization. Within the surfaces of the inorganic substructure iron, nickel and other transition metal centers as well as sulfido ligands are catalytically effective and from these emerge later the metallo-enzymes. The organic superstructure is generated by carbon fixation with the redox potential of volcanic exhalations – notably due to pyrite formation or CO-oxidation as driving force – in the form of a surface-bonded intermediary metabolism. From this emerges later a polymer metabolism by energy coupling. The surface metabolism is reproductive by autocatalytic feedback of its organic products as ligands of the catalytic metal centers. This is the basis of the direct initial mechanism of evolution from which emerges later the indirect mechanism of the genetic machinery. Therefore, the later, contingent, genetic mechanism is a consequence of the initial, chemical determinism and the upward evolution of life by increase of complexity is grounded in the synthetic nature of the redox chemistry of the pioneer organism.

1. Einleitung

Das Studium unseres Sonnensystems führt uns zu einer eigentümlichen Tatsache: Unter den 10 häufigsten Elementen des Sonnensystems finden sich zugleich auch die 6 wichtigsten Elemente des Lebens, nämlich H, O, C, N, Fe und S (neben He, Ne, Mg und Si). Hinzu kommen noch einige weniger häufige Elemente, nämlich die Nichtmetalle P und Se sowie die Übergangsmetalle Ni, Co, Mn, Cu, Zn, Mo, W und V.

Ausgehend von diesen wenigen Elementen des Lebens vollzieht sich im Verlauf der Erdgeschichte eine erstaunliche Steigerung der molekularen Komplexität (Abb. 1). Dies geschieht in vier Stufen. Ich möchte hier sogleich vorausschicken, daß ich den Begriff der molekularen Komplexität ganz einfach definiere als die Anzahl der Atome, die durch kovalente Bindungen in einem Molekül verknüpft sind. Die erste Stufe erfolgt durch rein geochemische oder kosmochemische Reaktionen. Die Atome der Lebens Elemente werden zu einfachsten anorganischen Molekülen verknüpft, insbesondere H₂, N₂, H₂O, H₂S, NH₃, CH₄, CO, CO₂, COS, HCN, SO₂. Diese sind allesamt gasförmig oder flüchtig, und sie entweichen in Form magmatischer Exhalationen aus dem Inneren der Erde. Aus dem Wasserdampf entsteht durch Kondensation flüssiges Wasser, das Elixier des Lebens.

Die drei nächsten Stufen der Steigerung der molekularen Komplexität sind weitestgehend an das Vorliegen der Biosphäre gebunden. Die zweite Stufe erfolgt im sogenannten Intermediärstoffwechsel der Organismen. Es entstehen einige hundert niedermolekulare organische Verbindungen der Elemente C, H, O, N, S(Se) und P. Dies ist die eigentlich chemisch kreative Stufe der Biochemie, in der sich die Elektronenkonfigurationen tiefgreifend ändern. Einige bifunktionelle Mitglieder dieser niedermolekularen organischen Verbindungsklasse dienen in der dritten Stufe der Ausbildung molekularer Komplexität als Monomere zur Synthese hochmolekularer Polykondensate, z. B. Proteine oder Nucleinsäuren. Dabei handelt es sich um eine organisatorische Stufe, in der die Monomeren lediglich sequentiell kombiniert werden, ohne daß sich ihre Elektronenkonfiguration wesentlich ändert. In der vierten, ebenfalls organisatorischen Stufe werden Polymerpartikel als Aggregate mehrerer hochmolekularer Polykondensatmoleküle gebildet. Beispiele sind aus Lipiden und Proteinen bestehende Zellhüllen, aus RNA und Proteinen bestehende Ribosomen sowie aus Proteinen bestehende Multienzymkomplexe, wie Proteasome.

Die Geschichte der Theorien zum Ur-Organismus des Lebens verläuft umgekehrt zur Richtung der molekularen Komplexität. Die älteste Theorie, die diesen Namen verdient, publizierte der Münchner Botaniker Carl von NÄGELI (1884). Danach sollen sich als erste Lebensform in einem Urozean aus Aminosäuren Proteinaggregate (Mizellen) gebildet haben, deren Vermehrung autokatalytisch dadurch erfolgte, daß unter dem katalytischen Einfluß einer vorgebildeten Protein-Mizelle von außen aufgenommene Aminosäuren zu neuen Proteinmolekülen reagierten, die *in statu nascendi* in die Mizelle eingelagert wurden, gefolgt von einem Zerfall derselben in Tochtermizellen (VON NÄGELI 1884). Vierzig Jahre später publiziert A. I. Oparin eine ganz ähnliche Theorie (OPARIN 1924), wobei erst in einer späteren Neufassung der Ausdruck »Koazervate« für die Proteinaggregate eingeführt wird (OPARIN 1938).

Weitere 40 Jahre später treten Vorschläge auf den Plan, die den Ur-Organismus nicht mehr als komplexes Proteinaggregat-Partikel auffassen, sondern als „nacktes“ replikationsfähiges Nucleinsäuremolekül (WOESE 1967, CRICK 1968, ORGEL 1968) oder als autokatalytisches, gelöstes Proteinkollektiv (DYSON 1985, KAUFMANN 1986). Allen diesen Theorien haftet neben dem obskuren Postulat einer Ursuppe und neben der übermäßigen Anfangskomplexität das

Problem an, daß der Masseneffekt des flüssigen Wassers die Hydrolyse der Polykondensate thermodynamisch begünstigt und daß somit im – insbesondere heißen – Urozean eine langsame Anreicherung der Polykondensate nicht möglich war. Desgleichen war auch eine Anreicherung etwaiger Kondensationsmittel, die selbst natürlich gegen Hydrolyse empfindlich sind, nicht möglich.

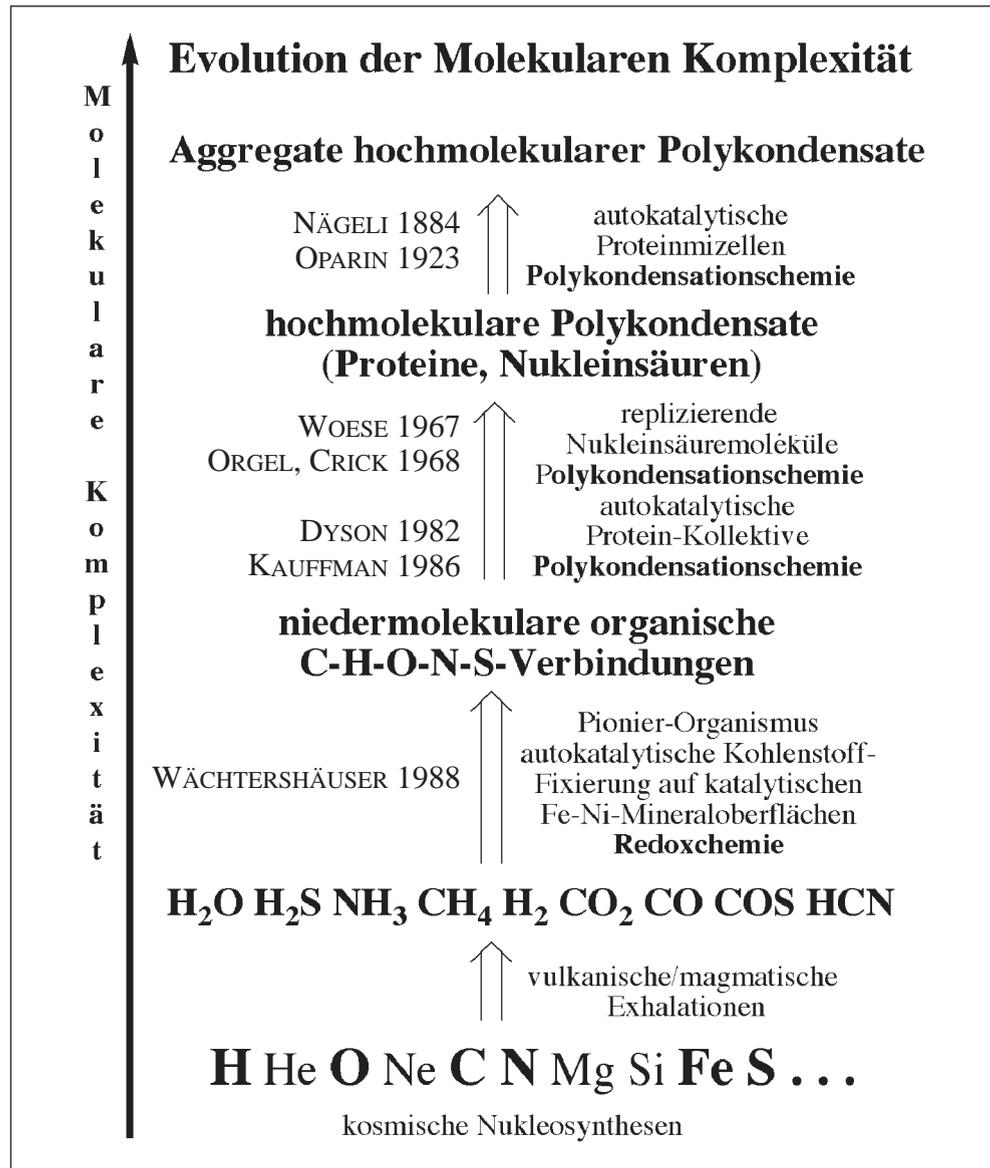


Abb. 1 Postulierte Ur-Organismen und ihre Positionierung in einem Schema der Evolution molekularer Komplexität.

2. Der Pionier-Organismus

Nachdem wir also in über hundert Jahren mit dem Postulat eines durch Polykondensation entstehenden Ur-Organismus nicht so recht vorangekommen sind, sollten wir es einmal anders versuchen und die Entstehung des Ur-Organismus auf der wesentlich niedrigeren Komplexitätsstufe der Synthese niedermolekularer organischer Moleküle lokalisieren (WÄCHTERSCHÄUSER 1988a). Eine Ursuppe ist dabei logischerweise nicht erforderlich. Einen solchen Ur-Organismus nenne ich „Pionier-Organismus“. Dabei steht der Namensteil „Organismus“ für ein strukturell und katalytisch organisiertes Gebilde und der Namensteil „Pionier“ für dessen Rolle als Startpunkt der Evolution.

Wir wenden uns zuerst der allgemeinen strukturellen Charakterisierung des Pionier-Organismus zu (Abb. 2). Der Pionier-Organismus hat eine minimale Ordnung. Diese beruht ganz einfach darauf, daß die organischen Moleküle als organischer Überbau auf den Oberflächen eines anorganischen Unterbaus vorliegen, d. h. als Zwischenphase zwischen dem anorganischen Unterbau und der Wasserphase. Ich verwende den Namen „Pionier-Organismus“ für die Gesamtheit der an die Oberflächen gebundenen organischen Moleküle mitsamt den oberflächennahen Bereichen des anorganischen Unterbaus. Der organische Überbau liegt als monomolekulare Schicht vor. In Richtung der (beliebig gekrümmten) Oberflächen ist die Ausdehnung des Pionier-Organismus unbestimmt. Senkrecht (normal) hierzu liegt sie als vektoriiell bestimmte Schicht vor. Zwischen der als Umwelt und Nahrungsquelle vorliegenden Wasserphase und der den Pionier-Organismus tragenden Festphase besteht eine Diffusionsbeziehung und/oder eine Strömungsbeziehung, wobei die Festphase als Festbett oder als Fließbett vorliegen kann.

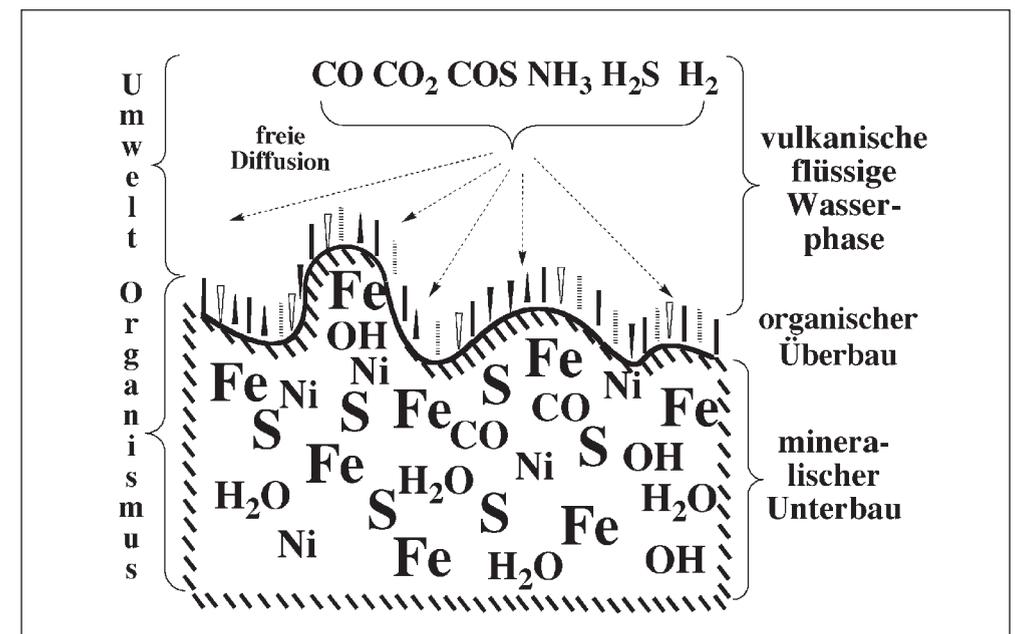


Abb. 2 Situation des Pionier-Organismus (Ausschnitt in Querschnittsansicht).

Der anorganische Unterbau entsteht durch Fällungsreaktionen. Zunächst entstehen amorphe, gelförmige, wasserhaltige Präzipitate in Form mehr oder weniger ausgedehnter, polymodaler Cluster aus Übergangsmetall-Zentren und anorganischen Liganden. Diese gehen dann gemäß der Ostwaldschen Stufenregel sukzessive durch Dehydratisierung und Kondensation zu immer höher geordneten Strukturen über und kristallisieren schließlich zu Mineralkörpern. Am Ende dieser Entwicklungskaskade liegen ausschließlich extrem stabile Mineralien vor, wie Pyrit. In den Zwischenstadien liegt eine Kombination aus Mineralkörpern und nicht-kristallinen Strukturen, z. B. oberflächen-gebundenen Clustern vor. Der organische Überbau entsteht durch Kohlenstoff-Fixierung an den Übergangsmetall-Zentren in den Oberflächen des anorganischen Unterbaus.

Einem so definierten Pionier-Organismus kann die bemerkenswerte Eigenschaft zugeschrieben werden, daß er sowohl Wachstum wie auch Reproduktion wie auch Evolutionsfähigkeit zeigen kann und daß diese drei zentralen Aspekte des Lebens in einem einzigen Prozeßtyp zusammenfallen. In einem Satz zusammengefaßt, handelt es sich ganz einfach darum, daß vermöge der katalytischen Eigenschaften der Übergangsmetall-Zentren in den Oberflächen des anorganischen Unterbaus und vermöge des chemischen Potentials der vulkanischen Exhalationen in der Wasserphase es zu folgendem kommt:

- Synthetische Kohlenstoff-Fixierungsreaktionen liefern organische Produkte, die *in statu nascendi* an die Oberflächen des anorganischen Unterbaus gebunden werden. Dies bedeutet Wachstum.
- Einige Syntheseprodukte koppeln autokatalytisch in die Synthesereaktion selbst zurück. Damit liegt Reproduktion vor.
- Die autokatalytische Rückkopplung ist variabel, und dies ist die Basis für Evolution.

Zur geochemischen Situation des Pionier-Organismus liefern neuere Ergebnisse zur Entstehung des Sonnensystems wichtige Hinweise: Eine vulkanische Kontinentalmasse, ein Ozean aus flüssigem Wasser und Sedimentationsprozesse waren auf der Erde schon vor mindestens 4,4 Milliarden Jahren vorhanden, d. h. schon 167 Millionen Jahre nach Entstehung unseres Sonnensystems (WILDE et al. 2001, MOJZIS et al. 2001). Genaue Isotopenmessungen haben gezeigt, daß die Prozesse der Akkretion, der Kern-Mantel-Trennung und der Krustenbildung recht schnell und teilweise parallel abliefen (YIN et al. 2002, KLEINE et al. 2002, JACOBSEN 2003). Daraus ist zu schließen, daß die geochemische Situation zur Zeit der Entstehung des Lebens gekennzeichnet war durch heftige Ausgasungen, heißes vulkanisches Kondensationswasser, stark reduzierendes Magma- oder Krustenmaterial und vulkanische Ausgasungen mit einer relativ hohen Konzentration an CO.

3. Die chemischen Grundbedingungen des Pionier-Stoffwechsels

Die chemischen Grundbedingungen des Pionier-Organismus ergeben sich aus einer biologischen Überlegung zum evolutionären Übergang von den katalytischen Metallzentren des Pionier-Organismus zu den heutigen Metalloenzymen. Dieser Übergang muß durch sukzessive, schrittweise Ersetzungen stattgefunden haben. Wegen dieses schrittweisen Charakters der katalytischen Ersetzungen wurden dabei die grundlegenden Merkmale des Pionier-Stoffwechsels im zentralen Stoffwechsel der heutigen Organismen konserviert. Daher können wir uns bei der hypothetischen Rekonstruktion des Pionier-Organismus und seines Stoffwechsels vom

universellen zentralen Stoffwechsel heutiger Organismen leiten lassen. Die hypothetischen Rekonstruktionen müssen sodann durch chemische Experimente überprüft werden. Endziel dieses experimentellen Programms sollte es sein, den Pionier-Organismus künstlich neu zu erschaffen und seine Evolution zu beobachten.

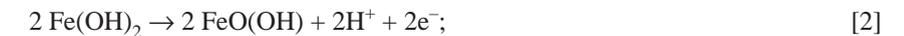
Für die hypothetische Rekonstruktion benötigen wir Übersetzungsregeln zur Übersetzung heutiger Stoffwechselwege in Pionier-Stoffwechselwege. Diese Übersetzungsregeln leiten sich von den allgemeinen Merkmalen des Pionier-Organismus ab:

- Die heutige Biosphäre beruht hauptsächlich auf CO₂-Fixierung. Wir übersetzen das heutige Edukt CO₂ in das Pionier-Edukt CO. CO ist heute C-Quelle für die Acetyl-CoA-Synthase, Elektronenquelle für die CO-Dehydrogenase und essentieller Ligand in allen drei Hydrogenasen.
- Die diversen Reduktionsmittel der heutigen Organismen übersetzen wir hypothetisch in solche, die unter vulkanischen Bedingungen sicher schon immer als Pionier-Reduktionsmittel vorgelegen haben müssen:

insbesondere die oxidative Bildung von Pyrit (WÄCHTERSHÄUSER 1988b):



die Oxidation von Eisen-II-hydroxid (HUBER und WÄCHTERSHÄUSER 2003):



die Oxidation von CO zu CO₂:



- Anregungen für die Rekonstruktion der Übergangsmetall-Zentren des anorganischen Unterbaus ergeben sich aus den Übergangsmetall-Zentren heutiger Metalloproteine: Eisen (Fe) ist häufigstes Biometall der Metalloproteine und zugleich häufigstes Übergangsmetall des Sonnensystems und der Erde; Nickel (Ni) ist wichtiges Katalysmetall der Bakterien und Archaeen und zweithäufigstes Übergangsmetall des Sonnensystems und der Erde; weitere Übergangsmetalle wie Mangan (Mn), Cobalt (Co), Molybdän (Mo), Wolfram (W), Kupfer (Cu), Zink (Zn) und Vanadium (V) kommen gegebenenfalls zusätzlich in Betracht. Anregungen für die Rekonstruktion der Liganden des anorganischen Unterbaus ergeben sich aus den Liganden heutiger Metalloproteine. Dies führt uns auf die Liganden Sulfido (-S-), Disulfido (-S-S-), Aquo (H₂O), Hydroxy (-OH), Carbonyl (CO), Cyano (-CN). Aus diesen Übergangsmetall-Zentren und Liganden ergibt sich ein anorganischer Unterbau als Mischung (Bibliothek) von mehrkernigen, polymodalen, heteroleptischen Komplexen oder Clustern.
- Im Stoffwechsel aller heutigen Organismen spielen Sulfhydrylgruppen (Cystein-Einheiten, Coenzym A) eine zentrale Rolle. Wir übersetzen diese in H₂S.

Bevor wir die obigen Regeln auf die Synthese von bioorganischen Verbindungen aus einfachsten anorganischen Verbindungen anwenden, betrachten wir zunächst einige wichtige, durch Übergangsmetall-Zentren katalysierte Redoxumwandlungen *innerhalb* der Gruppe der einfachsten anorganischen Verbindungen der vulkanischen Exhalationen. Diese Redoxumwandlungen können im Pionier-Organismus *in situ* stattfinden, so daß ihre Produkte dort sofort weiterreagieren können, oder sie können stromauf vom Pionier-Organismus stattfinden, so daß ihre Produkte zum Pionier-Organismus transportiert werden müssen, was eine gewis-

se Stabilität voraussetzt. Wir betrachten nun einige Reaktionen, die experimentell nachgewiesen worden sind.

- *Diwasserstoff-Bildung aus FeS/H₂S* (TAYLOR et al. 1979, DROBNER et al. 1990):



- *Stickstoff-Fixierung mit FeS/H₂S* (DÖRR et al. 2003):



- *COS-Bildung aus CO durch Ni-Katalyse* (HUBER und WÄCHTERSÄUSER 1997):



- *Methylmercaptan-Bildung aus CO durch Ni-Katalyse* (HUBER und WÄCHTERSÄUSER 1997):



- *Methylmercaptan-Bildung aus CO₂ mit FeS/H₂S* (HEINEN und LAUWERS 1996):



4. Zur Rekonstruktion des Pionier-Stoffwechsels

Wir wenden uns nun der Synthese niedermolekularer organischer Verbindungen aus den einfachsten flüchtigen anorganischen Verbindungen gemäß Abbildung 2 oder gemäß den Reaktionen [4] bis [8] zu. Wir beginnen mit der Synthesestufe C1 + C1 = C2, dabei gehen wir von Methylmercaptan aus, das gemäß den Reaktionen [7] und [8] entsteht und auch in Vulkan gasen vorkommt. Ferner gehen wir von der Fixierung von Kohlenmonoxid aus, welches im heutigen Stoffwechsel auch als Ligand in Hydrogenasen wirkt, sowie als Reduktionsmittel.

4.1 Essigsäuremethylthioester aus Methylmercaptan und CO (HUBER und WÄCHTERSÄUSER 1997)

Es wurde in zahlreichen Experimenten nachgewiesen, daß Acetylthioester aus rein vulkanischen Verbindungen entstehen können:



Getrieben wird diese Reaktion vom chemischen Potential des zuvor durch Redoxreaktionen erzeugten Gemisches von Methylmercaptan und Kohlenmonoxid. Katalysiert wird sie von frischen Präzipitaten, wie (Fe,Ni)S, NiS, Ni(OH)₂, CoS. Vermöge des der Reaktion innewohnenden Mechanismus wird nicht nur eine C2-Struktur gebildet, sondern es wird auch die Gruppenaktivierung der Thioestergruppe erreicht, durch welche das Molekül für nachfolgende Reaktionen energetisch vorbereitet ist, wie dies bei einem Stoffwechsel erforderlich ist. Diese archaische Thioesterbildung entspricht nach Verlauf und Katalyse in erstaunlichen Details der heutigen enzymatischen Acetyl-CoA-Synthese, wobei in der Acetyl-CoA-Synthese eine an ein Ni-Zentrum gebundene CH₃-Gruppe mit einem CO-Liganden und HS-CoA reagiert. Die heutige Biosynthese ist also wohl durch schrittweise und deshalb konservative Enzymatisierung der archaischen Reaktion entstanden.

4.2 Brenztraubensäure aus CO mit FeS/RSH (CODY et al. 2000)

Die nächste Stufe der molekularen Komplexität wird charakterisiert durch die Beziehungen C2 + C1 = C3 oder C1 + C1 + C1 = C3. In der heutigen Biochemie entsteht Brenztraubensäure u. a. aus Acetyl-CoA durch reduktive Carboxylierung. Diese Biosynthese wird als evolutionärer Nachfolger einer archaischen Synthese durch Carbonylierung angesehen. Als Stütze für diese These wurde über zwei experimentelle Fälle der Bildung von Brenztraubensäure unter Bedingungen sehr hohen Drucks (2000 Bar) und sehr hoher Temperatur (250 °C) berichtet. Dabei wurde FeS eingesetzt sowie wasserfreie Ameisensäure als Quelle für CO und H₂O, sowie Nonylmercaptan als Sulfidquelle. Wenn wir die intermediäre Bildung von Methylmercaptan annehmen, so kann die Reaktion folgendermaßen formuliert werden:



Es versetzt in Erstaunen, daß die extrem temperaturempfindliche Brenztraubensäure unter diesen Bedingungen überhaupt nachgewiesen werden konnte, während die wesentlich stabilere Ameisensäure gerade unter CO-Freisetzung vollständig zerfällt. Weitere Untersuchungen dieser Komplexitätsstufe sind im Gange.

4.3 α-Aminosäuren durch reduktive Aminierung (HAFENBRADL et al. 1995, HUBER und WÄCHTERSÄUSER 2003)

In der heutigen Biochemie entsteht die Glutaminsäure aus α-Ketoglutarat durch reduktive Aminierung. Bei einem der Enzyme dieser Reaktion, der Glutamat-Synthase, dienen Fe-S-Cluster der Elektronenübertragung. Anschließend werden andere α-Aminosäuren aus den entsprechenden α-Ketosäuren durch Übertragung der Aminogruppe der Glutaminsäure durch Transaminasen gebildet. Es konnte experimentell gezeigt werden, daß die reduktive Aminierung unter vulkanischen Bedingungen sehr effizient abläuft und zwar ganz allgemein mit Ammoniak, primären Aminen und sekundären Aminen und mit allen α-Ketosäuren. Als Katalysator und Elektronenquelle kann dabei nicht nur FeS gemäß Reaktion [1] dienen, sondern auch Fe(OH)₂ gemäß Reaktion [2]. Daraus können wir schließen, daß diese reduktive Aminierung primär mit der Oxidation von Fe²⁺ zu Fe³⁺ gekoppelt ist, wobei anschließend entweder in Abwesenheit von Sulfid FeOOH, Fe₂O₃ oder Fe₃O₄ gebildet wird oder in Gegenwart von Sulfid FeS₂:



4.4 Aminosäureaktivierung und Peptidzyklus (HUBER und WÄCHTERSÄUSER 1998, HUBER et al. 2003)

In der heutigen Biochemie werden Aminosäuren durch Energiekopplung unter Phosphoanhydrid-Bildung mit ATP oder unter Thioester-Bildung für die Synthese von Proteinen oder Peptiden aktiviert. Diese Art der Aktivierung ist für den Pionier-Organismus zu komplex. Es wurde experimentell gefunden, daß die Aktivierung der Aminosäuren zur Bildung von Peptiden unter vulkanischen, alkalischen Bedingungen in Gegenwart von NiS als Katalysator mit CO + H₂S (oder CH₃SH) als Aktivierungsmittel erfolgt. Ferner wurde festgestellt, daß unter

den gleichen Bedingungen Peptide über die N-terminale Bildung eines Hydantoin-Rings und über die anschließende Bildung einer N-terminalen Harnstoff-Gruppe wieder zu Aminosäuren hydrolysiert werden. Dieser Peptidzyklus ist in Abbildung 3 für den einfachsten Fall des Glycin-Dipeptidzyklus dargestellt und in einigen mechanistischen Einzelheiten noch unbestimmt.

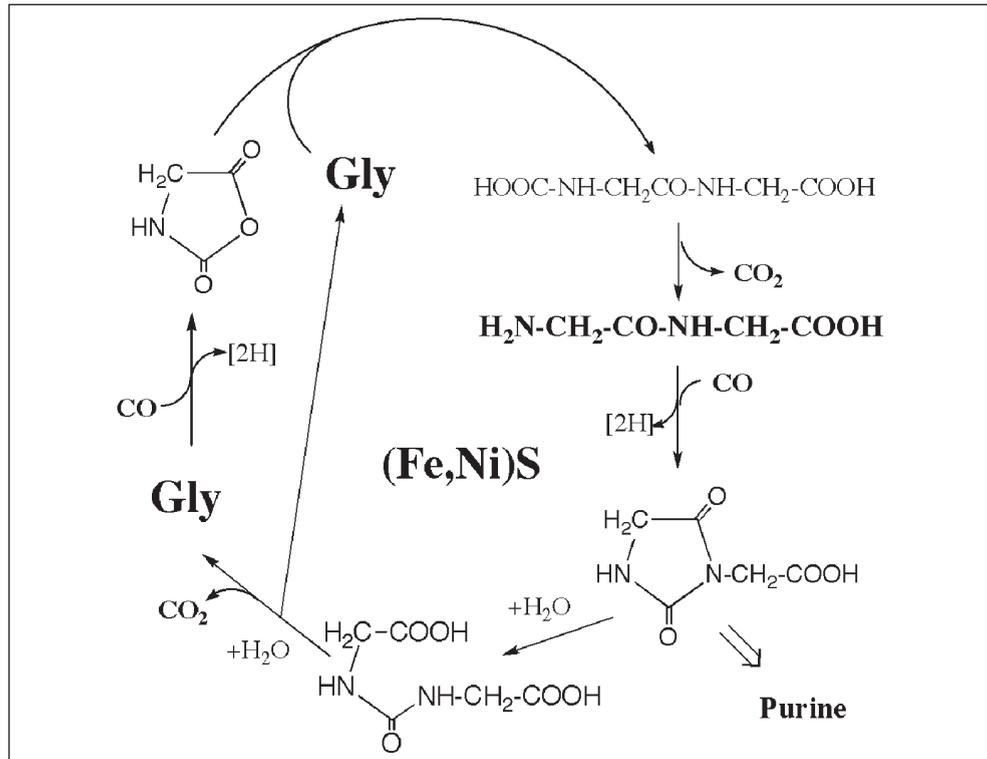


Abb. 3 Glycindi-peptid-Zyklus

In der ersten Reaktionsstufe dieses Peptidzyklus reagiert ein Molekül Glycin mit CO zu einem zyklischen Molekül des sogenannten Leuchsschen Anhydrids. Es wird angenommen, daß zuvor CO gemäß Reaktion [6] zu COS umgewandelt wird. Dieses reagiert anschließend mit der Aminogruppe des Glycins und dann mit der Carboxygruppe unter Ringbildung. Dabei wird die Carboxygruppe aktiviert. Es wird also die Redoxenergie in der Reaktion [6] über COS in die Glycin-Gruppenaktivierung gekoppelt. Anschließend reagiert ein weiteres Molekül Glycin nukleophil mit dem so gebildeten Leuchsschen Anhydrid. Dabei bildet sich unter Decarboxylierung ein Molekül des Dipeptids Glycylglycin (Gly-Gly). Anschließend reagiert die Aminogruppe des Dipeptids mit einem weiteren Molekül CO (nach dessen Oxidation zu COS), wobei ein N-terminaler Hydantoin-Ring gebildet wird. Bis zu dieser Stufe läuft der Peptidzyklus in synthetischer oder anabolischer Richtung. Die nachfolgenden beiden Stufen

sind katabolische Hydrolysestufen. Zunächst wird am N-terminalen Ende eine Harnstoff-Gruppe gebildet, und danach erfolgt Harnstoff-Hydrolyse. Letztere erinnert daran, daß im heutigen Stoffwechsel die Urease ein Nickel-Enzym ist. So besteht also der Peptidzyklus aus einem anabolischen Teil und einem katabolischen Teil. Dies entspricht im heutigen Stoffwechsel dem Proteinzyklus mit einem anabolischen, vom Ribosom-System katalysierten Teil und einem katabolischen, von Proteasomen katalysierten Teil. Das Dipeptid weist eine freie Aminogruppe auf, die mit der freien Aminogruppe des Glycins um die Reaktion mit dem Leuchsschen Anhydrid konkurriert. Dabei entsteht ein Tripeptid und aus diesem wiederum ein Tetrapeptid und so weiter. Die Peptide wachsen also am N-terminalen Ende, und sie werden auch am N-terminalen Ende konkurrierend abgebaut. Mit zusätzlichen Aminosäuren werden Peptide mit einer erhöhten Anzahl von Strukturmöglichkeiten gebildet. Katalysiert werden alle Stufen des Peptidzyklus durch den gleichen Katalysator, nämlich (Fe,Ni)S. Angetrieben wird der Peptidzyklus von der Redoxreaktion des CO zu CO₂. Dies ist die einfachste Form der Energiekopplung. Solange der Redoxenergievorrat reicht, wird beständig Gruppenaktivierung an Ort und Stelle für die Peptidbildung generiert. Eine Akkumulierung von COS ist daher nicht erforderlich. Falls mehrere Aminosäuren vorliegen, werden sie alle in Peptidstrukturen eingebaut. Es entsteht dabei eine Mischung (Bibliothek) von Peptiden. Dabei handelt es

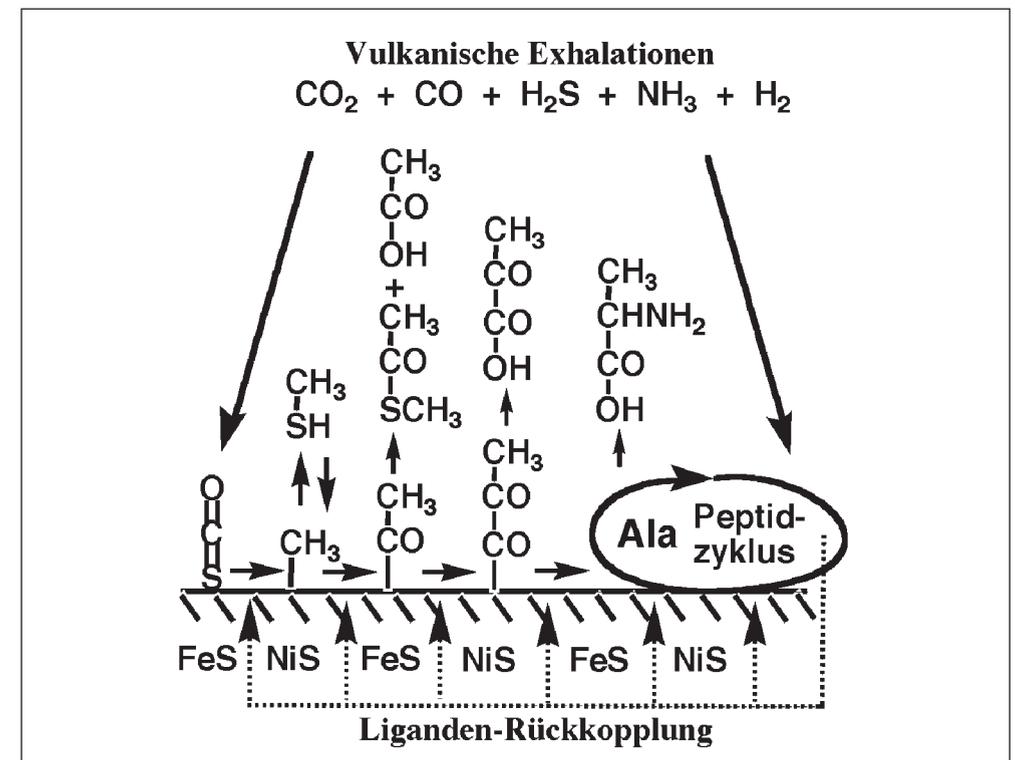


Abb. 4 Darstellung der experimentell nachgewiesenen Einzelreaktionen als Reaktionskaskade des Pionier-Stoffwechsels.

sich um eine dynamische Peptid-Bibliothek, denn die Peptide kommen und gehen, und ihre *Steady-state*-Konzentration entspricht der Differenz zwischen Bildungsrate und Hydrolyse-rate. Die Peptidbibliothek ist auch selbst-selektierend, denn eine feste Bindung an Metallzentren des Unterbaus führt zu einer Stabilisierung gegen Hydrolyse und damit zu einer Erhöhung der *Steady-state*-Konzentration. Diese Selbst-Selektion führt zur Ausbildung von Metallopeptid-Strukturen.

In Abbildung 4 sind alle bisher angeführten Reaktionen ausgehend von CO bis zum Peptidzyklus als Gesamtreaktionskaskade des Pionier-Stoffwechsels zusammengestellt. Obwohl alle einzelnen Reaktionen unter recht ähnlichen Bedingungen ablaufen, handelt es sich immer noch um eine hypothetische Zusammenstellung. Ziel des experimentellen Programms ist es, Bedingungen zu ermitteln, unter denen die Gesamtreaktionskaskade in einem Zuge abläuft.

5. Reproduktion und Evolution des Pionier-Organismus

Es wird nun sofort die chemische Natur der positiven (autokatalytischen) Rückkopplung des Pionier-Organismus klar. Es handelt sich darum, daß Reaktionsprodukte des Pionier-Stoffwechsels als Liganden der katalytischen Übergangsmetallzentren positiv zurückkoppeln. Dies gilt insbesondere für die Konstituenten des Peptidzyklus. Die Selbst-Selektion führt dazu, daß eine Teilklasse aller Konstituenten hinreichend fest an Metallzentren bindet und dadurch stabilisiert wird. Es ist seit langem bekannt, daß die katalytischen Metallzentren von Übergangsmetallkatalysatoren in ihrer Aktivität und Selektivität durch Liganden gesteigert werden können. In Abbildung 4 ist diese mögliche positive (autokatalytische) Liganden-Rückkopplung durch gestrichelte Pfeile dargestellt. Dies bedeutet, daß wir die Reproduktion des Pionier-Organismus als positive (autokatalytische) Liganden-Rückkopplung identifizieren können.

Genauer gesprochen handelt es sich bei der positiven Rückkopplung um folgendes: Sobald eines der Reaktionsprodukte des Pionier-Stoffwechsels als Ligand eines katalytischen Metallzentrums für einen geschwindigkeitsbestimmenden Schritt in einem Reaktionsweg des Pionier-Stoffwechsels zurückkoppelt und dessen Aktivität erhöht, wird dadurch die Rate dieses Reaktionsweges erhöht. Als Folge erhöht sich die *Steady-state*-Konzentration aller Produkte dieses Reaktionsweges und damit auch der autokatalytisch rückkoppelnden Produkte. Gleichzeitig aber erweitert sich auch das Spektrum der Produkte, die mit einer für effektive Rückkopplung ausreichenden Konzentration vorliegen, und somit erweitert sich auch das Spektrum der Rückkopplungsmöglichkeiten. Damit erweitert sich aber auch das Spektrum der effektiven synthetischen Reaktionsmöglichkeiten. Dies ist die Basis für die fortschreitende Erhöhung der molekularen und metabolischen Komplexität. Diesen Effekt einer Rückkopplung im Sinne einer Erweiterung der Reaktionsmöglichkeiten und Rückkopplungsmöglichkeiten kann man „Vorwärtskopplung“ nennen. Es liegt darin das Potential für eine sehr rasche Pionier-Evolution begründet. Auf diese Weise kommt es dazu, daß dem jeweils präexistenten Reaktionsnetzwerk immer neue Rückkopplungsschleifen aufgepfropft werden. Das synthetische Reaktionsnetzwerk des organischen Überbaus des Pionier-Organismus ist in diesem Sinne selbst-erweiternd.

Das sich selbst erweiternde synthetische Reaktionsnetzwerk ist zentralisiert und konservativ im folgenden Sinne. Im Reaktionsnetzwerk sind alle Reaktionen mehr oder weniger integriert. Die ältesten Reaktionen sind am stärksten integriert und somit zentrale Reaktionen,

da ihre Produkte für eine Vielzahl von Reaktionen und Rückkopplungen wesentlich sind. Die jüngsten Reaktionen sind am schwächsten integriert und somit periphere Reaktionen. Je zentraler eine Reaktion ist, um so problematischer ist eine Störung derselben für das Reaktionsnetzwerk. Daher sind die zentralen Reaktionen am stärksten konserviert.

Eine chemische Reaktion ist von den äußeren Reaktionsbedingungen abhängig. Durch positive Rückkopplung eines Produkts einer Reaktion in diese Reaktion selbst wird diese Abhängigkeit im Vergleich zu der von Rückkopplung freien *De-novo*-Reaktion in einem gewissen Maße unabhängig oder autonom. Das bedeutet, daß eine einmal *de novo* in Gang gekommene autokatalytische Rückkopplungsreaktion unter Bedingungen weiterlaufen kann, unter denen sie nicht mehr *de novo* in Gang kommen kann. Somit führt jede positive autokatalytische Rückkopplung zu einem Memory-Effekt.

Wir betrachten nun noch den Fall eines neu entstehenden Reaktionspfades, der von einem präexistenten Reaktionsnetzwerk abzweigt und dieses somit schwächt. Falls ein Produkt dieses Abzweigungspfades in den Abzweigungspfad selbst positiv (autokatalytisch) zurückkoppelt, wird die Schwächung des Reaktionsnetzwerks verstärkt. Eine solche für den Abzweigungsweg positive Rückkopplung ist also für das präexistente Reaktionsnetzwerk negativ. Einen Ausweg aus dieser paradoxen Situation bieten Reaktionsprodukte mit einer doppelten Rückkopplung: einer „egoistischen“ positiven Rückkopplung in den eigenen Abzweigungsweg und einer „altruistischen“ positiven Rückkopplung in das präexistente Reaktionsnetzwerk. Katalysatoren als Reaktionsprodukte mit einer solchen doppelten katalytischen Rückkopplung können als „Vitalisatoren“ bezeichnet werden. Beispiele für Vitalisatoren im heutigen Stoffwechsel sind Coenzyme, die viele Reaktionen katalysieren, einschließlich Reaktionen in ihrer eigenen Biosynthese; sowie Ribosomen, die alle Proteinsynthesen katalysieren, einschließlich der Synthesen der ribosomalen Proteine (WÄCHTERSÄUSER 1994).

Mit zunehmender Akkumulierung der positiven Rückkopplungen wächst die Entfernung von einem durch die chemischen Umwelt-Gegebenheiten ermöglichten *De-novo*-Reaktionsgeschehen. Damit tritt zugleich auch die Gefahr eines Zusammenbruchs des gesamten Autokatalysesystems, d. h. die Sterblichkeit des Organismus, immer stärker hervor. Mit zunehmender Sterblichkeit des Organismus erhöht sich im gleichen Maße auch seine Lebendigkeit.

Dieser vorstehend allgemein skizzierte Mechanismus der frühen, vom Pionier-Organismus ausgehenden Evolution führt auf zwei parallelen Koevolutionssträngen zur genetischen Maschinerie und zur Zellularisierung. Diese sollen im Folgenden ganz allgemein charakterisiert werden.

6. Entstehung der genetischen Maschinerie

Der Anfangsmechanismus der Evolution ist ein direkter Mechanismus. Produkte des Pionier-Stoffwechsels, insbesondere Peptidprodukte, koppeln direkt als Liganden in den Pionier-Stoffwechsel zurück. Hierdurch entstehen katalytische Metallopeptide. Dies steigert die Konzentration aller Peptide und erweitert das Spektrum der als Liganden wirksamen Peptide. So entstehen neue, aktivere Metallopeptide (Vorwärtskopplung). Alles was die Synthese katalytisch wirksamer Metallopeptide fördert, beschleunigt die Evolution durch Metallopeptide. Dieser Gedanke führt uns zwanglos zur Erkenntnis, daß die frühe Evolution zu Katalysatoren für die Synthese von Peptiden führen mußte. Daraus folgt, daß am Anfang der Herausbildung der genetischen Maschinerie die Katalyse der Peptidbildung steht.

Als Beispiel nehmen wir RNA-Haarnadelstrukturen (proto-tRNAs) mit UUU-Tripletts, die terminal mit Glycin in Form von Estern beladen sind. Poly-A mag dann als proto-mRNA dienen, wobei die Katalyse der Oligo-Gly-Synthese ganz einfach durch (anchimere) Nachbarschaftspositionierung zustande kommt. Eine Basensequenz als digitale Information ist dabei nicht erforderlich. Für die Synthese eines Oligopeptids mit zwei alternierenden Aminosäuren sind zwei verschiedene proto-tRNAs erforderlich, z. B. mit den Tripletts UCU und CUC, wobei eine proto-mRNA mit der einfachen alternierenden Sequenz $(GA)_n$ eine alternierende Positionierung katalysiert. Dies wäre der Beginn einer Basensequenz als digitale Information. Erst mit zunehmender Anzahl der Aminosäuren wird eine selektive Katalyse der Synthese bestimmter Peptidsequenzen durch Programmierung des Ribosoms mit bestimmten Basensequenzen in gleichem Maße zu einem immer größeren Problem. Dies ist die Situation, in der Sequenzreplikation und Replikationstreue immer vorteilhafter für die selektive Bildung ausgewählter Peptidsequenzen werden.

Nun tritt an die Stelle des direkten Evolutionsmechanismus durch Variation der Peptidsynthese und Peptidrückkopplung der heutige indirekte Evolutionsmechanismus als Variation der mRNA-Sequenzen durch Replikationsfehler und deren Übersetzung in eine Variation von Peptidsequenzen. Ohne die vorausgehende Herausbildung der proto-ribosomalen Katalyse der Peptidsynthese wäre die Entstehung von RNA-Replikation für den Organismus kein Vorteil, sondern sicherlich ein Nachteil, da sie dem Metabolismus Material entzöge, ohne ihm katalytisch etwas zurückzugeben. Es erfolgt also Zug um Zug eine Koevolution von Translation und Replikation. Dabei werden sukzessive die Metallopeptid-Strukturen durch Metalloproteine ersetzt. In letzteren wirken die Metallzentren wie in den Metallopeptiden als Katalysatoren und Elektronenüberträger. Sie gewinnen aber auch aufgrund kovalenter Bindung an Cysteinreste eine neue Funktion als Faltungsdeterminanten zur Stabilisierung der Proteinfaltungsstrukturen. Diese erhalten dadurch von Anfang an die bei den hohen Umgebungstemperaturen des frühen Lebens erforderliche Hyperthermostabilität. Erst mit der Erhöhung der Replikationstreue können sukzessive Proteine entstehen, die ihre Faltungsstabilität nicht wenigen kovalenten Bindungen an Übergangsmetallzentren verdanken, sondern der Kooperativität von vielen schwachen nicht-kovalenten Wechselwirkungen. Schließlich kommt es beim Übergang von Hyperthermophilie über Thermophilie zur Mesophilie sukzessive zu einer opportunistischen Ersetzung der kovalenten Faltungsdeterminanten durch nicht-kovalente Faltungsdeterminanten. In diesem Sinne ist die Evolution als thermisch irreversibler Prozeß anzusehen.

Der direkte Evolutionsmechanismus ist also die Voraussetzung für die Entstehung des indirekten Evolutionsmechanismus der genetischen Maschinerie. Bei der Entstehung der genetischen Maschinerie handelt es sich somit um die Evolution des Evolutionsmechanismus.

7. Zellularisierung

Die Herausbildung von zellulären Organismen mit stabilen, geschlossenen Zellstrukturen kann man sich in mehreren Stufen vorstellen.

Für das Verständnis der ersten Stufe knüpfen wir an die nachgewiesene Bildung von Acetylthioester aus Methylmercaptan und CO an. Wir postulieren nun, daß daraus im frühen Stoffwechsel ähnlich der heutigen Biosynthese Lipide in Form von Fettsäuren und Isoprenoidsäuren entstehen. Diese haben eine geringe Löslichkeit in Wasser und sammeln sich deshalb an der Grenzfläche zwischen dem anorganischen Unterbau und der Wasserphase an. Die Fol-

ge ist eine fortschreitende Lipophilisierung der Grenzflächen, verbunden mit einer Verringerung der H_2O - und H_3O^+ -Aktivität auf den Oberflächen. Dies wiederum begünstigt alle Kondensationsreaktionen (altruistische Rückkopplung) und auch die Lipidsynthese (egoistische Rückkopplung). Bei dieser Art der Lipidrückkopplung handelt es sich nicht um die Rückkopplung einzelner Lipidmoleküle, etwa als Liganden, sondern um eine kollektive Rückkopplung.

In der zweiten Stufe kommt es wegen der kollektiven Natur der Rückkopplung zu einer immer stärkeren Verlängerung und Akkumulierung der Lipide. Dies führt schließlich zu einer Zusammenlagerung der Lipide zu Doppelschicht-Membranen. Mit weiterer Vergrößerung der Membranbereiche kommt es schließlich zur Ausbildung geschlossener Membranvesikel. Anfangs sind die Membranen noch instabil und auf Stützung durch den mineralischen Unterbau angewiesen. Daher werden die sich ausbildenden Membranvesikel als „Semizellen“ bezeichnet.

Im Verlauf der weiteren Evolution ist jede Verbesserung der Lipide im Sinne höherer Membranstabilität ein Wert an sich. Dies führt zwangsläufig zur Synthese von keilförmigen Lipiden mit zwei langkettigen lipophilen Resten und einer hydrophilen Kopfgruppe und insbesondere zu Phosphatidyl-Lipiden. Nun werden die Lipidvesikel zu selbsttragenden Zellmembranen. Damit entstehen „Präzellen“ gemäß der Theorie von Otto KANDLER (1994). Präzellen entwickeln bereits alle Eigenschaften der heutigen echten Zellen mit einer entscheidenden Einschränkung: Präzellen bilden eine multi-phänotypische globale Population von Organismen mit freiem Genaustausch. Sie haben je nach den örtlichen chemischen Gegebenheiten unterschiedliche Stoffwechselltypen, aber in bezug auf die genetische Maschinerie sind sie einheitlich und können gerade deshalb ihre genetische Ausstattung frei untereinander austauschen. Zur Erklärung der weiteren zellulären Evolution bedarf es zweier Annahmen:

- Die Lipide sind chiral und werden als Razemat synthetisiert;
- aufgrund der Membrantopologie kommt es zu einem häufigen Fusionieren und Aufspalten der Präzellen und dadurch zum häufigen Austausch der genetischen Ausstattung.

Dies hat eine weitreichende Folge. Razemische Lipidmembranen sind energetisch etwas ungünstiger als homochirale Lipidmembranen. Dieser physikalisch-chemische Sachverhalt führt zunächst zur Ausbildung von homochiralen Lipidomänen durch Phasentrennung innerhalb der razemischen Lipidmembranen der Präzellen und sodann im Zuge der häufigen Fusionierungen und Spaltungen zur Ausbildung zweier Präzelltypen, in deren Membranen das eine oder andere Lipidenantiomere überwiegt. Danach erst entstehen enantioselektive Lipidbiosynthesen in Anpassung an das jeweils überwiegende Lipidenantiomere in den Präzellen. Somit kommt es zwangsläufig zur Abspaltung der beiden phylogenetischen Domänen der *Bacteria* und *Archaea* (WÄCHTERSHÄUSER 2003).

8. Zusammenfassung und Ausblick

Als Ergebnis obiger Überlegungen ändert sich von der Warte des Pionier-Organismus unser Bild des biologischen Evolutionsprozesses. Wir erkennen, daß wir es mit zwei parallelen, überlagerten Prozessen zu tun haben. Mit dem Pionier-Organismus beginnt ein direkter, chemisch determinierter Evolutionsprozeß. Ich nenne ihn hier den „Tiefenevolutionsprozeß“. Er ist chemisch festgelegt und in seiner Richtung bestimmt durch die universellen Gesetze der

chemischen Kohlenstoff-Fixierung an Übergangsmetallkatalysatoren. Aus diesem direkten Tiefenevolutionsprozeß geht erst später der indirekte genetische Evolutionsprozeß hervor. Dabei bilden zufällige, ungerichtete Mutationen in Form von Sequenzänderungen durch Replikationsabweichungen die Spielmasse des Evolutionsprozesses. Fixiert werden einige dieser Mutationen in den Populationen erst durch die Selektion. Nun aber sehen wir diese Selektion nicht nur als Anpassung an die Umwelt, sondern auch und vor allem als Anpassung an den nach wie vor ablaufenden, chemisch determinierten und durch die Gesetze der chemischen Synthese gerichteten Tiefenevolutionsprozeß. Aus der chemischen Determinierung des Tiefenevolutionsprozesses ergibt sich somit die Konsequenz, daß in den chemischen Gegebenheiten des Pionierorganismus die Richtung der evolutionären Erhöhung der molekularen Komplexität bis hin zur Entstehung der genetischen Maschinerie, bis hin zur Zellularisierung und bis hin zur Abzweigung der Domänen der Bacteria und Archaea bereits in Grundzügen angelegt ist.

Literatur

- CODY, G. D., BOCTOR, N. Z., FILLEY, T. R., HAZEN, R. M., SCOTT, J. H., SHARMA, A., and YODER, H. S. Jr.: Primordial carbonylated iron-sulfur compounds and the synthesis of pyruvate. *Science* 289, 1337–1340 (2000)
- CRICK, F. H. C.: The origin of the genetic code. *J. Mol. Biol.* 38, 367–379 (1968)
- DÖRR, M., KÄSSBOHRER, J., GRUNERT, R., KREISEL, G., BRAND, W. A., WERNER, R. A., GEILMANN, H., APFEL, C., ROBL, C., und WEIGAND, W.: Eine mögliche präbiotische Bildung von Ammoniak aus molekularem Stickstoff auf Eisensulfidoberflächen. *Angew. Chem.* 115, 1579–1581 (2003)
- DROBNER, E., HUBER, H., WÄCHTERSHÄUSER, G., ROSE, D., and STETTER, K. O.: Pyrite formation linked with hydrogen evolution under anaerobic conditions. *Nature* 346, 742–744 (1990)
- DYSON, F.: *Origins of Life*. Cambridge: Cambridge Univ. Press 1985
- HAFENBRADL, D., KELLER, M., WÄCHTERSHÄUSER, G., and STETTER, K. O.: Primordial amino acids by reductive amination of α -oxo acids in conjunction with the oxidative formation of pyrite. *Tetrah. Lett.* 36, 5179–5182 (1995)
- HEINEN, W., and LAUWERS, A. M.: Organic sulfur compounds resulting from the interaction of iron sulfide, hydrogen sulfide and carbon dioxide in an anaerobic aqueous environment. *Orig. Life Evol. Biosph.* 26, 131–150 (1996)
- HUBER, C., EISENREICH, W., HECHT, S., and WÄCHTERSHÄUSER, G.: A possible primordial peptide cycle. *Science* 301, 938–940 (2003)
- HUBER, C., and WÄCHTERSHÄUSER, G.: Activated acetic acid by carbon fixation on (Fe,Ni)S under primordial conditions. *Science* 276, 245–247 (1997)
- HUBER, C., and WÄCHTERSHÄUSER, G.: Peptides by activation of amino acids with CO on (Fe,Ni)S surfaces and implications for the origin of life. *Science* 281, 670–682 (1998)
- HUBER, C., and WÄCHTERSHÄUSER, G.: Primordial reductive amination revisited. *Tetrah. Lett.* 44, 1695–1697 (2003)
- JACOBSEN, S. B.: How old is planet Earth? *Science* 300, 1513–1514 (2003)
- KANDLER, O.: The early diversification of life. In: BENGSTON, S. (Ed.): *Early Life on Earth: Nobel Symposium No. 84*, pp. 152–160. New York: Columbia University Press 1994
- KAUFFMAN, S. A.: Autocatalytic sets of proteins. *Theor. J. Biol.* 119, 1–24 (1986)
- KLEINE, T., MÜNKER, C., MEZGER, K., and PALME, H.: Rapid accretion and early core formation on asteroids and on terrestrial planets from Hf-W chronometry. *Nature* 418, 952–955 (2002)
- MOJZIS, S. J., HARRISON, T. M., and PIDGEON, R. T.: Oxygen-isotope evidence from ancient zircons for liquid water at the Earth's surface 4.300 Myr ago. *Nature* 409, 178–181 (2001)
- NÄGELI, C. VON: *Mechanisch-physiologische Theorie der Abstammungslehre*. S. 83–101. München: Oldenbourg 1884
- OPARIN, A. I.: *Proiskhozhdenie zhizny*. Moskau: Izd. Moskovski Rabochii 1924
- OPARIN, A. I.: *The Origin of Life*. New York: MacMillan 1938
- ORGEL, L. E.: Evolution of the genetic apparatus. *J. Mol. Biol.* 38, 381–393 (1968)
- TAYLOR, P., RUMMERY, T. E., and OWEN, D. G.: Reactions of iron monosulfide solids with aqueous hydrogen sulfide up to 160 °C. *J. Inorg. Nucl. Chem.* 41, 1683–1687 (1979)

- WÄCHTERSHÄUSER, G.: Before enzymes and templates: theory of surface metabolism. *Microbiol. Rev.* 52, 452–484 (1988a)
- WÄCHTERSHÄUSER, G.: Pyrite formation, the first energy source for life: a hypothesis. *Syst. Appl. Microbiol.* 10, 207–210 (1988b)
- WÄCHTERSHÄUSER, G.: From pre-cells to Eukarya – a tale of two lipids. *Mol. Microbiol.* 47, 13–23 (2003)
- WÄCHTERSHÄUSER, G.: Vitalysts and virulysts: a theory of self-expanding reproduction. In: BENGSTON, S. (Ed.): *Early Life on Earth: Nobel Symposium No. 84*, pp. 124–132. New York: Columbia University Press 1994
- WILDE, S. A., VALLEY, J. W., PECK, W. H., and GRAHAM, C. M.: Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago. *Nature* 409, 175–178 (2001)
- WOESE, C. R.: *The Genetic Code: the Molecular Basis for Genetic Expression*. New York: Harper & Row 1967
- YIN, Q., JACOBSEN, S. B., YAMASHITA, K., Blichert-Toft, J., TÉLOUK, P., and ALBARÈDE, F.: A short timescale for terrestrial planet formation from Hf-W chronometry of meteorites. *Nature* 418, 949–952 (2002)

Prof. Dr. Günter WÄCHTERSHÄUSER
 Patentanwalt
 Weinstraße 8
 80333 München
 Bundesrepublik Deutschland
 Tel.: +49 89 2199760
 Fax: +49 89 223759
 E-Mail: gwmunich@yahoo.com

Molekulare Basis der biologischen Evolution

Werner ARBER (Basel)



Zusammenfassung

Spontane Mutationsbildung ist gemäß der Neo-Darwinistischen Evolutionstheorie die treibende Kraft der biologischen Evolution, während natürliche Selektion zusammen mit den verfügbaren genetischen Varianten die Richtung der Evolution bestimmt. Dank der Methodik der molekularen Genetik lassen sich die molekularen Mechanismen der genetischen Variation erkunden. Dazu dienen vorzüglicher Weise Studien mit Bakterien, die dank ihrer Haploidie Neumutationen schnell phänotypisch manifestieren. Veränderte Nukleotidsequenzen erweisen sich eher selten als nützlich, öfters aber als schädlich oder neutral. Verschiedene spezifische Mechanismen tragen zur Gesamtmutagenese bei. Diese Mechanismen lassen sich in drei natürliche Strategien der genetischen Variation klassieren: (a) Lokale Veränderung der Nukleotidsequenz, (b) Umstrukturierung von DNA-Segmenten innerhalb des Genoms, und (c) die Akquisition eines DNA-Segmentes aus einem andersartigen Lebewesen mittels horizontalem Gentransfer. Konkrete Beispiele für die drei natürlichen Strategien der genetischen Variation können auch die qualitativen Unterschiede der Beiträge der Strategien zum evolutionären Geschehen illustrieren. Die Theorie der molekularen Evolution basiert auf dem Verständnis der molekularen Prozesse der genetischen Variation und postuliert, daß dabei Produkte von sogenannten Evolutionsgenen zusammen mit diversen, nicht-genetischen Faktoren am Werk sind. Die Evolutionsgene verschaffen den Organismen ihre evolutionäre Fitness. Kenntnis der molekularen Evolution erweitert unser Naturverständnis. Im Hinblick auf dessen philosophischen Wert sollen Wege skizziert werden, die zu einem Einvernehmen zwischen einerseits naturwissenschaftlichen Kenntnissen und andererseits traditioneller Weisheit und Glaubenskenntnissen führen können.

Abstract

According to the Neo-Darwinian theory of evolution spontaneous mutagenesis is the driving force of biological evolution, while the direction of evolution depends on natural selection together with the available genetic variants. The methods of molecular genetics enable us to investigate the molecular mechanisms of genetic variation. Such studies can best be done with bacteria. Their haploid genome manifests rapidly the phenotypes of new mutations. Altered nucleotide sequences are rather rarely of advantage, more often they are of disadvantage or neutral. Several specific mechanisms contribute to the overall mutagenesis. These mechanisms can be classified into three natural strategies of genetic variation: (i) a local change of the nucleotide sequence, (ii) the rearrangement of DNA segments within the genome, and (iii) the acquisition of a DNA segment from another kind of organism by horizontal gene transfer. Selected examples for the three natural strategies of genetic variation can also illustrate the qualitative differences of the contributions made by the strategies to the evolutionary process. On the basis of knowledge on the molecular mechanisms of genetic variation the theory of molecular evolution postulates that products of so-called evolution genes are involved in mutagenesis together with diverse non-genetic factors. The evolution genes provide to the organisms their evolutionary fitness. The knowledge on molecular evolution extends our knowledge on nature. With regard to its philosophical value we can search for ways to reach a general agreement between scientific knowledge, on the one hand, and traditional wisdom and religious beliefs on the other hand.

1. Einführung

Der Neo-Darwinismus ist das Resultat der sogenannten evolutionären oder modernen Synthese, welche in den 1930er und 1940er Jahren eine Integration zwischen DARWINs Abstammungslehre und der klassischen Genetik erbrachte. Zu jener Zeit war der molekulare Träger der genetischen Information noch unbekannt. Genetische Varianten wurden durch eine Veränderung des Phänotyps, der manifest werdenden Erscheinungsform, identifiziert. Kurz darauf wurde mittels mikrobiellen Transformationsexperimenten die Desoxyribonukleinsäure (DNA) als Erbträger identifiziert (AVERY et al. 1944). Schließlich verhalf einige Jahre später die Aufklärung der fadenförmigen, doppelsträngigen Struktur der DNA-Moleküle (WATSON und CRICK 1953) zu einer breiten Akzeptanz der Kenntnis, daß DNA der Träger der genetischen Information ist. Dies hat es in den vergangenen fünf Jahrzehnten ermöglicht, die Frage nach der molekularen Basis der genetischen Variation abzuklären. Die dabei erzielten Ergebnisse sollen hier summarisch dargestellt werden. Wissenschaftliche und weltanschauliche Aspekte des auf diesen Ergebnissen abgestützten molekularen Darwinismus, der Theorie der molekularen Evolution (ARBER 2003), sollen diskutiert werden, was zu einem breiteren Verständnis der biologischen Evolution beitragen möge.

1.1 Prinzipien der Neo-Darwinistischen Evolutionstheorie

Die biologische Evolution basiert prinzipiell auf drei Pfeilern:

- der Verfügbarkeit von Individuen mit veränderter Erbinformation;
- der natürlichen Selektion, d. h. der selektiven Bevorzugung, respektive Benachteiligung spezifischer genetischer Varianten unter den von Gemischtpopulationen vorgefundenen Lebensbedingungen; und
- der geographischen und der reproduktiven Isolation von Lebewesen.

Dazu ist zu bemerken, daß die in Ökosystemen herrschenden Lebensbedingungen weder zeitlich konstant sind noch räumlich präzise abgegrenzt werden. Ganz allgemein hängen Lebensbedingungen ab

- von der physikalisch-chemischen Natur der unbelebten Umwelt und
- von den biologischen Aktivitäten aller anwesenden Lebewesen.

Dazu kommt, daß auf unserem Planeten der für Lebewesen verfügbare Platz nicht unbegrenzt ist. Abschätzungen ergeben, daß unsere Erde jederzeit etwa 10^{30} lebende Zellen beherbergen kann. Die drei hier umschriebenen Eckpfeiler der biologischen Evolution beeinflussen den Evolutionsprozeß in verschiedener Weise:

- Veränderung der Erbinformation, d. h., genetische Variation/Mutation treibt die biologische Evolution an;
- natürliche Selektion zusammen mit den verfügbaren Lebensformen/genetischen Varianten bestimmt die Richtungen, welche von der biologischen Evolution eingeschlagen werden (Wachstumsrichtungen der Zweige am Evolutionsbaum); und
- die geographische und die reproduktive Isolation wirken als Modulatoren des Evolutionsprozesses.

1.2 Definition der Begriffe Mutation und Genom

Seit nunmehr 60 Jahren ist der Begriff der genetischen Information, des Gens, nicht mehr wie zuvor ein abstraktes Konzept. Erbinformation ist in linearer Weise in der Abfolge der einzelnen Bausteine (Nukleotide) von DNA-Molekülen enthalten, ähnlich der ebenfalls linearen Buchstabenabfolge in der von uns benutzten Schrift. Die Gesamtheit aller prinzipiell in jeder Zelle enthaltenen Erbinformation wird als Genom definiert.

In der klassischen Genetik definiert man die Mutation durch eine feststellbare Veränderung einer Lebensäußerung, d. h. des Phänotyps des Lebewesens, allerdings vorausgesetzt, daß sich der veränderte Phänotyp auch an die Nachkommen vererbt. Mit dem Aufkommen der molekularen Genetik wurde dann klar, daß neu auftretende, vererbare Phänotypen immer auf eine Veränderung in der Nukleotidsequenz des Genoms zurückgehen. Andererseits ist jetzt aber auch bekannt, daß bei weitem nicht jede spontan erfolgende Veränderung in der Nukleotidsequenz auch einen veränderten Phänotyp zur Folge hat. Deshalb ist es wichtig, darauf hinzuweisen, daß der Begriff der Mutation, den wir hier als Synonym von genetischer Variation verwenden, in der molekularen Genetik anders definiert wird als in der klassischen Genetik. In der molekularen Genetik beinhaltet die Mutation eine Veränderung in der herkömmlichen Genomsequenz, in der klassischen Genetik aber eine Veränderung der Erscheinungsform, des Phänotyps.

1.3 Studienobjekte und Strategien der Forschung über molekulare Mechanismen der genetischen Variation

Während längerer Zeit warfen Evolutionsbiologen ihre Aufmerksamkeit größtenteils auf höhere Tiere und Pflanzen und insbesondere auf den Menschen. Seit dem Aufkommen der mikrobiellen Genetik in den 1940er Jahren begannen Mikrobiologen, sich auch der Erkundung der Evolution von Mikroorganismen zu widmen, insbesondere von Bakterien und von Viren. Deren relativ kleine Genome ermöglichen es den Forschern, neu auftretende Mutationen schnell zu identifizieren und den zu Grunde liegenden molekularen Prozeß der Veränderung der Genomsequenz zu erkunden.

In den letzten 20 Jahren ist es dank umfangreicher DNA-Sequenzanalysen von Genomen verschiedenartiger Lebewesen möglich geworden, computerunterstützte Sequenzvergleiche von Sequenzdomänen, von einzelnen Genen, von Gruppen von Genen und von ganzen Genomen zu unternehmen. Die Interpretation der erhaltenen Daten über Sequenzhomologien kann dabei Anlaß geben zu Rückschlüssen auf molekulare Mechanismen, welche im Laufe der Zeit zu festgestellten Sequenzverschiedenheiten geführt haben könnten. Meistens geht es dabei um mehrschrittige, historische Prozesse. Diese Forschungsstrategie eignet sich für jede Art von Lebewesen, von Mikroorganismen bis zu höheren Lebewesen.

Als einzellige Lebewesen, die sich durch Zellteilung vermehren, eignen sich Bakterien besonders gut zum direkten Studium von molekularen Mechanismen von einzelnen Neumutationen, ebenso wie für Sequenzvergleiche zwischen mehr oder weniger nahe verwandten Bakterienstämmen. Unter guten Wachstumsbedingungen zeigen *E. coli*-Bakterien eine Generationszeit von etwa 30 Minuten, was 50 Generationen pro Tag entspricht. Populationsgenetische Experimente lassen sich so innerhalb von wenigen Tagen durchführen. Da die bakterielle Erbinformation haploid ist, d. h. nur einen Satz von Genen pro Zelle trägt, manifestieren

sich Mutationen, welche biologische Funktionen verändern, relativ schnell. Mit dem relativ leichten Zugang des mikrobiellen Erbgutes zu molekularer Analyse wird auch die Identifikation der einer Mutagenese zu Grunde liegenden molekularen Prozesse erleichtert.

2. Phänotypische Effekte auf Grund von veränderten Nukleotidsequenzen

Wie bereits erwähnt, bewirkt bei weitem nicht jede Veränderung in der Genomsequenz eine Veränderung des Phänotyps. Dafür gibt es verschiedene, gut bekannte Gründe, die hier nicht näher erläutert werden müssen. In der molekularen Genetik spricht man dabei von neutralen und von stillen Mutationen. Andererseits bewirken relativ viele Neumutationen eine selektive Benachteiligung des mutierten Lebewesens. Dabei kann die Störung der Lebensprozesse verschieden stark sein, im Extremfall häufig sogar unmittelbar letal. Andererseits sind sich die meisten Biologen darüber einig, daß Neumutationen sich nur hin und wieder als nützlich erweisen und so eine selektive Bevorzugung bewirken. Es sind also diese Ausnahmefälle, welche die biologische Evolution antreiben. Aus dieser Situation ergeben sich zwei Folgerungen:

- Es ist keine gute Evidenz verfügbar, welche auf eine prinzipielle evolutionäre Zielgerichtetheit der genetischen Variation hinweisen könnte. Seltene spezielle Ausnahmen von dieser Regel erscheinen allerdings möglich und lassen sich in Einzelfällen auch mechanistisch kausal erklären.
- Im Hinblick auf die große Häufigkeit selektiver Benachteiligung sind nur tiefe Mutationsfrequenzen, idealer Weise weniger als eine Mutation pro Genom und pro Vermehrungszyklus, tolerierbar, ohne die Erhaltung der betroffenen Art von Lebewesen zu gefährden. Einigen Konsequenzen dieser Forderung werden wir im Kapitel 3. begegnen.

3. Quellen und natürliche Strategien der spontanen Veränderung von Nukleotidsequenzen

Insbesondere auf Grund von molekulargenetischen Studien mit Mikroorganismen, in zunehmendem Maße aber auch durch den Vergleich von DNA-Sequenzen beliebiger Lebewesen mittels Bioinformatik, ist es in letzter Zeit klar geworden, daß spontan erfolgende genetische Variation auf eine Vielzahl verschiedenartiger molekularer Mechanismen zurückgeht. Dabei lassen sich die spezifischen Einzelmechanismen in drei qualitativ verschiedene, natürliche Strategien der genetischen Variation klassieren. Diese Aussage soll im Folgenden konkretisiert werden, wobei allerdings aus Platzgründen für die verschiedenen Strategien nur ausgewählte Beispiele spezifischer Mechanismen besprochen werden können. Für eine eingehendere Darstellung und Diskussion verfügbarer Daten kann auf neulich publizierte Übersichtsartikel hingewiesen werden (ARBER 2000, 2002, 2003, 2004).

3.1 Lokal begrenzte Veränderung einer Nukleotidsequenz

Bei dieser ersten Strategie der spontan erfolgenden Erzeugung von lokalen Veränderungen der herkömmlichen Nukleotidsequenz handelt es sich je nachdem um den Ersatz (Substitution)

eines einzelnen Nukleotids durch ein andersartiges Nukleotid, um die Deletion eines oder einiger weniger benachbarter Nukleotide, um das zusätzliche Einfügen eines oder einiger weniger benachbarter Nukleotide oder schließlich um das Durchmischen einiger benachbarter Nukleotide. Häufig kann diese lokale Art der Mutagenese dem beschränkten Treuegrad der DNA-Replikation zugeschrieben werden, in anderen Fällen der Einwirkung eines natürlich vorkommenden chemischen Mutagens oder auch einem gewissen Grad von chemischer Instabilität von Nukleotiden. Außer der hier angesprochenen limitierten chemischen Stabilität weist auch die dreidimensionale Struktur der Nukleotide eine gewisse Flexibilität auf. Durch kurzfristige Umlagerung der Bindungen zwischen ihren einzelnen Atomen können Nukleotide in der Tat kurzlebige, tautomere Formen annehmen. Es ist gut bekannt, daß ein in der tautomeren Form sich befindendes Nukleotid bei der DNA-Replikation mit einem anderen Partnernukleotid Paarbildung eingeht als das gleiche Nukleotid in seiner viel stabileren Normalform. Dies ist einer der natürlichen Wege der spontanen Nukleotidsubstitution. Die Häufigkeit dieser Mutagenese ist relativ hoch, und sie würde eine für das Leben notwendige genetische Stabilität vor allem von großen Genomen in Frage stellen, hätte die Natur nicht schon vor langer Zeit Reparaturmechanismen entwickelt, welche derartige Substitutionen bei ihrem Entstehen identifizieren und deren Stabilisierung verhindern können (siehe auch Kapitel 4.).

3.2 Segmentweise Umstrukturierung der DNA innerhalb des Genoms

Bei dieser zweiten natürlichen Strategie der Erzeugung genetischer Varianten geht es um verschiedenartige Rekombinationsprozesse, wobei kürzere oder längere DNA-Segmente innerhalb des Genoms verpflanzt, deletiert, verdoppelt oder auch an Ort und Stelle umgedreht (invertiert) werden können. Die spezifischen Mechanismen mehrerer genetisch geleiteter, bei der Variationsbildung beteiligter Rekombinationsprozesse sind in den vergangenen Jahrzehnten gut aufgeklärt worden. Dies betrifft besonders die allgemeine oder homologe Rekombination, die ortsspezifische Rekombination und Inversion sowie die Transposition mobiler genetischer Elemente. In der Regel erfolgen diese DNA-Umstrukturierungen innerhalb des Genoms nicht an rein zufällig ausgewählten Stellen. Vielmehr beachtet etwa die allgemeine genetische Rekombination Stellen mit relativ guter Sequenzhomologie. Gewisse Transpositionssysteme benutzen bei der Translokation vornehmlich kürzere spezifische Nukleotidsequenzen als Insertionsorte, während andere Transpositionssysteme eher gewisse DNA-Regionen zur Neuinsertion benutzen. Dabei erfolgt aber die Insertion innerhalb der bevorzugten Region fallweise in eine von vielen möglichen Einbaustellen (SENGSTAG und ARBER 1987).

Im Genom des bakteriellen Virus P1 erfolgt mit relativ großer Häufigkeit eine sogenannte ortsspezifische DNA-Inversion zwischen zwei fast identischen Sequenzen von 26 Nukleotiden, welche in der DNA in umgekehrter Ausrichtung getragen sind. Von besonderem evolutionärem Interesse ist aber, daß mit etwa einer Million tieferen Frequenzen auch viele andere DNA-Sequenzen als sekundäre Kreuzungsstellen für den Inversionsprozeß dienen können, und dies in statistisch reproduzierbarer Weise (ARBER 1991).

3.3 DNA-Akquisition

Die mikrobielle Genetik nahm ihren Anfang in den 1940er Jahren, und sie basiert auf der sogenannten horizontalen Übertragung von Erbinformation von einem Bakterium auf ein anderes, oft auch eines anderen Bakterienstammes. Dies kann in einem von drei gut erforschten Übertragungsprozessen erfolgen:

- In der Transformation wird von der Empfängerzelle ein DNA-Segment des Genoms einer Spenderzelle aus dem Suspensionsmedium aufgenommen.
- In der Konjugation binden sich eine Spenderzelle und eine Empfängerzelle eng zusammen, wobei ein Teil der Erbinformation aus der Spenderzelle auf die Empfängerzelle übertragen wird.
- Schließlich kann auch ein Virus als Genfähre (Genvektor) dienen, wobei ein DNA-Segment aus dem Genom einer Spenderzelle mittels viraler Infektion auf eine Empfängerzelle übertragen wird.

Nach Einschleusen der Spender-DNA in eine Empfängerzelle kann in allen drei Fällen der Genübertragung die übertragene DNA oder ein Teil davon dem Genom der Empfängerzelle stabil zugefügt werden, oft mittels Rekombinationsprozessen. Wir wissen inzwischen, daß diese Prozesse des horizontalen Gentransfers in der Welt der Mikroorganismen weit verbreitet sind. Solange die Spenderzelle und die Empfängerzelle zum gleichen Bakterienstamm gehören, sind diese Prozesse auch effizient. Andererseits ist der horizontale Gentransfer zwischen verschiedenartigen Bakterien meistens sehr ineffizient. Diese genetische Isolation kann mehrere Gründe haben. Einer davon erklärt sich dadurch, daß die meisten Bakterien genetisch bestimmte Restriktionsmodifikationssysteme besitzen, deren Enzyme fremdartige DNA unterscheiden können und fremde DNA kurz nach deren Eindringen in die Empfängerzelle durch deren Abbau unschädlich machen. Dies hält die erfolgreiche Genakquisition bei relativ tiefen Frequenzen und sichert so eine gewisse genetische Stabilität der Mikroorganismen. In letzter Zeit mehren sich wissenschaftlich gut fundierte Hinweise, daß horizontaler Gentransfer auch bei höheren Lebewesen eine Rolle spielt. Allerdings sind die dabei beteiligten Mechanismen noch weniger gut bekannt als bei den Mikroorganismen. Aber auch bei höheren Lebewesen können Viren die Rolle als Genfähren übernehmen. Außerdem können auch symbiontisch in Pflanzen und Tieren lebende Bakterien gelegentlich Anlaß geben zum horizontalen Gentransfer, was zur Akquisition fremder Gene in den Wirtsorganismen führen kann.

3.4 Evolutionsbaum

Ein baumartiges, stark verzweigtes Gebilde ist bekanntlich ein beliebtes Hilfsmittel zum besseren Verständnis des langfristigen Prozesses der biologischen Evolution. Im Hinblick auf die evolutionäre Bedeutung des horizontalen Gentransfers, gefolgt durch DNA-Akquisition, sollten im klassischen Evolutionsbaum an mehr oder wenig zufälligen Stellen zwischen zwei Zweigen horizontale Verbindungen angebracht werden (ARBER 1991). Dabei muß man sich allerdings bewußt sein, daß jede dieser Verbindungen prinzipiell nur einmal gebraucht wird und nicht in permanenter Weise an der gleichen Stelle verfügbar ist.

4. Produkte von Evolutionsgenen und nicht-genetische Faktoren bewirken gemeinsam die Erzeugung von genetischen Varianten mit Frequenzen, die für die Lebenserhaltung tolerierbar sind

Schon bei der Beschreibung von Quellen und Strategien der Veränderung von Nukleotidsequenzen im Kapitel 3. wurde darauf hingewiesen, daß bei diesen natürlich erfolgenden Prozessen auch Genprodukte mitwirken. Dieses Mitwirken ist so zu verstehen, daß die natürliche Realität bei der Erzeugung genetischer Varianten einerseits eine Reihe nicht-genetischer Faktoren zu Hilfe zieht und andererseits auch verschiedenartige Genprodukte einsetzt. Letzteres dient dazu, die genetische Variation so zu optimieren, daß Populationen von Lebewesen über genügend für ihren evolutionären Fortschritt nötige genetische Varianten verfügen, aber daß diese Lebewesen auch eine für die langfristige Erhaltung ihrer Population ausreichende genetische Stabilität aufweisen. Sehen wir uns also diese Elemente etwas näher an.

Betrachten wir als Beispiel für ein Evolutionsgen ein in Bakterien wirksames mobiles genetisches Element. Dieses bewirkt die mit tiefen Frequenzen erfolgende Translokation des Elementes, wobei öfters mit dem eigentlichen Transpositionsprozeß noch weitere DNA-Umstrukturierungen verbunden sind, wie DNA-Inversion, DNA-Deletion, DNA-Amplifikation oder die Kointegration zweier DNA-Moleküle. Wir wissen, daß keiner dieser Prozesse essentiell ist für das normale bakterielle Leben von einer Generation zur nächsten. Vielmehr tragen diese DNA-Umstrukturierungen zum Bereitstellen von genetischen Varianten bei, die dann wie alle anderen Mutanten der natürlichen Selektion unterworfen werden. Die genetischen Varianten dienen als Substrat für die natürliche Selektion und damit für die biologische Evolution. Aus diesem Grunde zählen wir die Gene für die bei Transposition wirksamen Enzyme (Transposasen) zu den für Variationsgeneratoren zuständigen Evolutionsgenen. In ähnlicher Weise gilt dies auch für andere Rekombinationssysteme, seien diese für allgemeine genetische Rekombination oder für ortsspezifische Rekombination und auch DNA-Inversion zuständig. Im Gegensatz dazu wirken Produkte anderer Evolutionsgene als Modulatoren der Frequenz genetischer Variation. Dazu gehören zum Beispiel die schon erwähnten Reparatursysteme, welche eine lokale Veränderung einer Nukleotidsequenz verhindern können. Auch bakterielle Restriktionsenzyme wirken als Modulatoren der Frequenz der Erzeugung von genetischen Varianten; sie halten die Frequenz des Einbaus eines fremden DNA-Segmentes nach horizontalem Gentransfer tief.

Zu den nicht-genetischen Faktoren, die zusammen mit den Produkten von Evolutionsgenen bei der Erzeugung genetischer Varianten mitwirken, zählen vornehmlich naturgegebene Eigenschaften der Materie. Beispiele sind die limitierte chemische Stabilität von Nukleotiden, die strukturelle Flexibilität biologisch aktiver Makromoleküle, wie wir sie etwa bei der Tautomerie kennengelernt haben, oder auch die Wirkung chemischer und physikalischer Mutagene auf DNA-Moleküle. Außerdem gehört auch die Zufälligkeit der Begegnung zu den nicht-genetischen Faktoren. Beispiele dafür finden sich bei der Begegnung einer Genfahre mit einer potentiellen Empfängerzelle oder bei der Begegnung eines chemischen oder physikalischen Mutagens mit einem Genom.

Im Hinblick auf die uns bekannten Ursachen und natürlichen Strategien der genetischen Variation kann man feststellen, daß sich die natürliche Wirklichkeit aktiv um das Bereitstellen von genetischen Varianten kümmert und damit auch um den langfristig wirksamen Prozeß der biologischen Evolution.

5. Die Produkte der drei natürlichen Strategien der genetischen Variation unterscheiden sich qualitativ in ihren Beiträgen zur biologischen Evolution

Im Kapitel 3. haben wir unterschieden zwischen kleinen lokalen Veränderungen in der DNA-Sequenz des Genoms, segmentweisen DNA-Umstrukturierungen innerhalb des Genoms, und DNA-Akquisition mittels horizontalem Gentransfer. Genau genommen findet man häufig auch eine Mischung verschiedener dieser Strategien bei spezifischen Mutationsprozessen. So wird etwa bei der Transposition nicht nur ein DNA-Segment an eine andere Stelle im Genom verpflanzt, sondern es wird dabei auch eine kurze Nukleotidsequenz am Einbauort verdoppelt, so daß das eingebaute DNA-Segment beidseitig von dieser Einbausequenz flankiert ist. Wie schon dargelegt, wirken andererseits verschiedenartige Rekombinationssysteme nicht nur bei der DNA-Umstrukturierung innerhalb des Genoms, sondern auch beim stabilen Einbau eines akquirierten fremden DNA-Segmentes in das Genom der Empfängerzelle. Trotz dieser komplexen Situation lohnt es sich zu überlegen, in welcher Weise jede der drei Basisstrategien zur biologischen Evolution beiträgt.

5.1 Lokale Veränderung einer Nukleotidsequenz

Wie schon erwähnt, ist dieser Prozeß generell nicht zielgerichtet. Vielmehr erweisen sich in der natürlichen Selektion nur wenige dieser Veränderungen als für das Lebewesen günstig und bewirken daher eine selektive Bevorzugung und damit einen Schritt vorwärts im Evolutionsprozeß. Lokale Veränderungen können DNA-Sequenzen betreffen, welche ein Genprodukt kodieren, und dabei allenfalls die Funktion des Genproduktes verbessern. Sie können aber auch Kontrollsequenzen für die Genexpression oder die Genomvermehrung betreffen, ebenso wie andere DNA-Sequenzen, die zur Harmonie des Lebensprozesses in irgendeiner Weise beitragen. Diese Strategie dient somit im Evolutionsprozeß vornehmlich zu einer schrittweisen Verbesserung von biologischen Funktionen und zu deren Adaptation an veränderte Lebensbedingungen. Im Prinzip könnten lokale Sequenzveränderungen auch eine Quelle neuartiger Funktionen darstellen. Allerdings kann man annehmen, daß dies erst richtig greifbar wird, nachdem die betroffene DNA-Sequenz oder deren Produkt ein Substrat für die natürliche Selektion geworden ist.

5.2 DNA-Umstrukturierung innerhalb des Genoms

Die evolutionäre Bedeutung der homologen genetischen Rekombination in der Meiose von diploiden Lebewesen ist seit langem allgemein bekannt. Dieser Prozeß trägt wesentlich zur biologischen Vielfalt in den Populationen dieser Lebewesen bei. Homologer genetischer Rekombination begegnet man auch in Bakterien, wo sie als Reparatursystem im Falle von Chromosomenbrüchen wirken kann, ebenso wie bei der Umstrukturierung mittels Rekombination zwischen homologen Sequenzen im Genom, beispielsweise zwischen identischen mobilen genetischen Elementen. Derartige Umstrukturierungen können auch zu partieller Verdoppelung von Gensequenzen führen, was sich bekannter Weise ebenfalls zu Gunsten des Evolutionsprozesses auswirken kann. Andererseits erachten wir auch seltene, mehr zufällige Neukombinationen innerhalb des Genoms, wie wir sie schon bei gewissen Transpositionsprozessen

und bei ortsspezifischer DNA-Inversion an sekundären Kreuzungsstellen besprochen haben, als für die biologische Evolution von unmittelbarer Bedeutung. Wiederum mehr zufällig kann es sich bei den Produkten dieser Prozesse um die Fusion zuvor unabhängiger funktioneller Domänen handeln, die nach Neukombination unter Umständen neuartige Funktionen ergeben können. Die Nützlichkeit einer Neufusion wird sich natürlich wiederum in der Wirkung der natürlichen Selektion erweisen. Derartige DNA-Umstrukturierungen innerhalb des Genoms kann man als ein Herumbasteln der natürlichen Wirklichkeit mit vorgefundenen Elementen ansehen. Daher sprechen wir auch bei den die Umstrukturierung bewirkenden Enzymen von Variationsgeneratoren. Längerfristig dient das dazu, neuartige Funktionen zu entwickeln und bestehende Kapazitäten besser und vielfältiger zu nutzen.

5.3 DNA-Akquisition

Die Aufnahme von Erbinformation, welche sich bereits in andersartigen Lebewesen bewährt hat, ist eindeutig eine erfolgreiche Evolutionsstrategie. Ein einziger Evolutionsschritt kann dem Empfängerlebewesen zu einer Erweiterung seiner Funktionen verhelfen. Dies hat sich beispielsweise bei der medizinisch bedeutungsvollen Verbreitung von mikrobiellen Antibiotikaresistenzen seit dem häufigen Einsatz von Antibiotika in der Human- und Veterinärmedizin erwiesen, deren Präsenz ja den Selektionsdruck verändert. Horizontaler Gentransfer beschränkt sich aber nicht nur auf Resistenzgene, sondern er kann beliebige DNA-Segmente eines Spenderlebewesens betreffen. Selbstverständlich ist auch hier, unter dem Druck der natürlichen Selektion, die funktionelle Harmonie der bei Akquisition entstehenden Hybride ausschlaggebend für den evolutionären Erfolg der Akquisition.

5.4 Evolutionäre Fitness

Wir haben soeben gesehen, daß jede der drei Basisstrategien zur Erzeugung von genetischen Varianten in ihrer spezifischen Art zum Gesamtprozeß der biologischen Evolution ihre Beiträge leistet. Daher postuliert die Theorie der molekularen Evolution, daß ein Lebewesen, sei es ein Bakterium oder ein höheres Lebewesen, dann seine beste evolutionäre Fitness erreicht, wenn in ihm idealer Weise je einige, mindestens aber einer der spezifischen Mechanismen für jede der drei erwähnten Strategien der genetischen Variation zur Wirkung kommen können. Soweit wir wissen, scheint dies bei den bisher diesbezüglich untersuchten Bakterien und höheren Lebewesen der Fall zu sein. Die Anwesenheit von Evolutionsgenen und deren Wirkung tragen dazu wesentlich bei. Man kann annehmen, daß die Evolutionsgene wie alle anderen Gene ebenfalls eine lange evolutionäre Geschichte hinter sich haben. Dabei müssen sich ihre Funktionen in den Populationen unter dem Druck einer Selektion zweiter Ordnung (WEBER 1996) auf einen evolutionär sinnvollen Aktivitätspegel eingestimmt haben, der auch der längerfristigen Erhaltung der betroffenen Arten nicht entgegen wirkt.

6. Relevanz der Kenntnisse über die molekulare Evolution für unser Naturverständnis, unser Weltbild

Nach den epochalen Publikationen von Charles DARWIN über die biologische Evolution kam es schon im 19. Jahrhundert zu einer Konfrontation zwischen religiös verankerten Glaubensbekenntnissen und den sich auf den Darwinismus abstützenden wissenschaftlichen Interpretationen der Lebensentwicklung. Diese Spaltung zwischen Kreationisten und Anhängern der Darwinistischen Evolutionslehre dauert auch heute noch an. Im Folgenden soll versucht werden, Wege zu skizzieren, die zu einem Einvernehmen über unser Verständnis der Entwicklung der Vielfalt des Lebens, der Biodiversität, führen könnten. Dabei werden wir aber die Frage nach dem Ursprung des Lebens auf der Erde nicht berühren.

6.1 Interdisziplinäre Aufgabe der Vermittlung naturwissenschaftlicher Kenntnisse an die Öffentlichkeit

Ganz allgemein ist der Mensch wißbegierig. Er sammelt sein Wissen aus traditionellen Überlieferungen, aus wissenschaftlich fundiertem Basiswissen und aus Glaubensbekenntnissen zusammen, und er bildet daraus einen Grundstock von Orientierungswissen, das ihm bei vielen privaten und gesellschaftsrelevanten Entscheidungen auf seinem Lebensweg Dienste leistet. Wissenschaftliche Grundlagenforschung ist eine wichtige Quelle für die stetige Bereicherung unserer naturwissenschaftlichen Basiskenntnisse. Dabei ist allerdings zu beachten, daß experimentelle Ergebnisse und wissenschaftliche Beobachtungen in vielen Fällen einer Interpretation der verfügbaren Daten bedürfen. Im Prinzip sollten sich dann die Fachspezialisten darüber einig werden, ob eine und allenfalls welche Interpretation dem schon verfügbaren Basiswissen zugefügt werden kann. Erst dann beginnt auch die interdisziplinäre Aufgabe, die neu erlangten Kenntnisse dem jedem Mitglied der Zivilgesellschaft eigenen Orientierungswissen beizufügen. Bei der in meinem Referat skizzierten Theorie der molekularen Evolution ist der innerwissenschaftliche Prozeß der Evaluierung gegenwärtig erst am Anlaufen. Trotzdem will ich mir hier darüber Gedanken machen, wie eine sicher auf uns zukommende, breitere Diskussion über die molekularen Prozesse bei der Entwicklung der Vielfalt von Leben gestaltet werden könnte, dies im Hinblick auf ein mögliches Einvernehmen statt einer konzeptuellen Konfrontation zwischen naturwissenschaftlichen Erkenntnissen, traditionellen Weisheiten und Glaubensbezeugungen.

6.2 Schöpfung als einmaliger Akt oder als schrittweise permanenter Prozeß?

Große Unterschiede in den Erscheinungsformen verschiedenartiger Lebewesen können uns suggerieren, daß jede Art von Lebewesen auf einen unabhängigen Schöpfungsakt zurückgehen muß. Jede Art würde dann wohl auch im Laufe der Zeit prinzipiell unverändert bleiben. Dieser in einem Fundamentalismus verankerten, kreationistischen Auffassung widerspricht die Darwinistische Evolutionslehre, nach welcher die heutige Vielfalt der Lebensformen auf eine stetige, langsam fortschreitende evolutionäre Entwicklung zurückgeht. Gemäß dieser Auffassung gehört zur Schöpfung auch eine permanente Weiterentwicklung der biologischen Vielfalt, ausgehend von ersten primitiven Lebewesen, welche unserer wissenschaftlichen Forschung bisher allerdings unzugänglich sind. Die meisten Biologen anerkennen die Evolu-

tionstheorie prinzipiell als der Wirklichkeit entsprechend. Gegen diese Meinung stellen sich Anhänger gewisser religiöser Glaubensbekenntnisse, die sich dabei auch auf überlieferte Schriften berufen. Ähnlich wie bei der Interpretation von wissenschaftlich angesammelten Daten besteht auch bei der Interpretation von alten, überlieferten Schriftstücken ein gewisser Freiraum, eine gewisse Unsicherheit. In beiden Fällen ist manchmal die Wahrheit nur schwer absehbar.

In diesem Umfeld erlaube ich mir hier als theologischer Laie eine mir vertraute, überlieferte Schrift, die *Genesis* aus dem alten Testament, auf die darin verankerte traditionelle Weisheit in bezug auf das Verständnis von Schöpfung und Evolution hin zu analysieren. Die *Genesis* basiert auf einer Reihe von in Schöpfungsmythen verankerten mündlichen Überlieferungen, und sie fand ihre erste schriftliche Fassung vor beinahe 3000 Jahren (VAWTER 1973). Ich zähle diesen Text zu der die Menschheitsgeschichte prägenden traditionellen Weisheit. Danach ist die Schöpfung der unbelebten und der belebten Natur ein schrittweiser Prozeß. Darin folgen die einzelnen Schöpfungsschritte auch einer gewissen Logik. Lebewesen wurden erst geschaffen, nachdem geeignete Lebensbedingungen vorhanden waren. Von Mikroorganismen ist in der *Genesis* nicht die Rede. Das ist verständlich, da die vor 3000 Jahren lebenden Menschen ja diese Kleinstlebewesen gar nicht wahrnehmen konnten. Pflanzen wurden vor den Tieren geschaffen. Da Tiere sich maßgeblich von Pflanzen ernähren, erscheint diese Reihenfolge logisch. Der Mensch wird zuletzt erschaffen. Als gottähnlichem Lebewesen ist ihm die ganze Schöpfung anvertraut, er kann sie auch nutzen. Er soll dies allerdings mit Verantwortung und Liebe tun. In der heutigen Terminologie nennen wir das nachhaltig, d. h. ohne die Vielfalt und den für die nachfolgenden Generationen nützlichen, natürlichen Reichtum zu beeinträchtigen.

Die *Genesis* widmet auch der Genealogie viel Platz. Dabei werden viele Schlüsselpersonen mit Hinweis auf ihre Abstammung und auf ihre spezifischen Eigenschaften umschrieben. Diese Nachkommen von Adam und Eva sind in keiner Weise identische Klone. Vielmehr besitzt jede Person ihre eigenen positiven und auch negativen Eigenschaften. Nach der heutigen wissenschaftlichen Betrachtungsweise ist das maßgeblich der Wirkung von genetischer Variation und biologischer Evolution zuzuschreiben. Dieser natürliche Prozeß der genetischen Labilität ist somit in der traditionellen Weisheit der *Genesis* bereits verankert.

Während und am Ende der sechs Zeitperioden dauernden Schöpfung evaluiert Gott den Wert seines Werkes, und er beurteilt es als sehr gut. Dieses Urteil umfaßt die unbelebte Natur, das Leben als solches und, wie wir eben gesehen haben, auch die biologische Evolution, in der die Lebensformen sich schrittweise weiterentwickeln und neu verfügbare Lebensräume nutzen, um Vielfalt zu entwickeln, zu erhalten und immer wieder neu zu bereichern. Kurz gesagt, die biologische Evolution ist Gott ein wichtiges Anliegen, er liebt sie als Quelle der biologischen Vielfalt.

6.3 Wertschätzung von Schöpfung und von biologischer Evolution als zentrale Gebote

In diesem Kapitel beziehen wir uns auf das zweite Buch *Mose*, *Exodus*. Darin gibt Gott den Menschen u. a. zehn Gebote, die sie befolgen sollen. Auf deren Basis schließt Gott mit den Menschen einen Bund. Für unsere Diskussion sind meiner Ansicht nach zwei in die Mitte gestellte Gebote relevant. Wir wollen hier versuchen, diese zwei Gebote im Hinblick auf Schöpfung und Evolution von Lebewesen auszulegen.

Im 4. Gebot erwartet Gott vom Menschen, daß er sich den Ablauf der Schöpfung zum Vorbild nimmt: Sechs Tage soll er arbeiten, aber am 7. Tag ruhen. Die gegebene Begründung, in der speziell auf den Schöpfungsprozeß verwiesen wird, deutet als gezielten Hinweis darauf, daß wir der Schöpfung gedenken und ihr unsere Ehre zukommen lassen sollen.

Das 5. Gebot ermahnt uns, unseren Vater und unsere Mutter zu ehren, auf daß wir lange leben in dem Lande, das der Herr, unser Gott, uns geben will. Man kann sich hier zu Recht fragen, weshalb in diesem eigentlich selbstverständlichen Gebot der Ehre für unsere leiblichen Eltern noch eine Belohnung, ein langes Leben, versprochen wird. Im historischen Kontext geht es dabei wohl um die Aussicht, den Einzug in das gelobte Land noch selbst zu erleben. Eine mehr allgemeine Auslegung dieses Gebotes mit möglicherweise tieferem Sinn, sehe ich wie folgt. Der erste Teil weist auf den in langer Evolution zu Stande gekommenen biologischen Reichtum an Lebewesen hin, zu denen ja auch unsere leiblichen Eltern gehören. Wir sollen also der biologischen Evolution und damit der permanenten Schöpfung unsere Ehre erweisen. Wir sollen dafür dankbar sein, daß es uns überhaupt gibt. Daran schließt sich logisch die Erwartung, die Hoffnung an, daß der Evolutionsprozeß ungestört weitergehen möge. In diesem Lichte betrifft das lange Leben nicht allein uns persönlich, sondern auch das Leben unserer Nachkommen und mehr allgemein, den Fortbestand von Leben auf unserem Planeten. Damit ist auch hier die biologische Vielfalt angesprochen, die ihren Reichtum der biologischen Evolution verdankt. Nehmen wir gegenüber der Schöpfung und dem dazugehörigen Evolutionsprozeß die von uns erwartete Verantwortung ehrenvoll wahr, so dürfen wir damit rechnen, daß auch in der Zukunft vielfältiges Leben weiter existieren kann. Dank der biologischen Evolution können Populationen sich auch jederzeit an veränderte Lebensbedingungen anpassen. Dies ist mit dem Land angedeutet, das Gott uns in der Zukunft noch geben will.

So betrachtet, könnten in diesen zwei zentralen, an Moses auf dem Berg Sinai übermittelten Geboten in bildlicher Weise sowohl die Schöpfung als solche wie auch die dank biologischer Evolution stetig weiterschreitende permanente Schöpfung angesprochen sein. Diesen fundamentalen Anliegen Gottes gebührt unsere Ehre, unsere spezielle Aufmerksamkeit, unser Vertrauen, unsere Rücksicht und nicht zuletzt auch unsere Hoffnung auf zukünftige Entwicklungen. Im Lichte einer derartigen, übergeordneten Interpretation könnten zwei zentrale Gebote grundsätzliche Bedeutung erhalten, als Richtschnur für den Umgang des Menschen mit seiner belebten und unbelebten Umwelt. Sie könnten für gläubige Menschen zu einem Leitsatz ihres Orientierungswissens werden, ohne im Widerspruch zu naturwissenschaftlichen Kenntnissen zu stehen.

6.4 Dualismus des Genoms

Das in meinem Vortrag vorgestellte Postulat des Vorkommens von Evolutionsgenen bedingt einen funktionell verankerten Dualismus des Genoms, d. h. in der Gesamtheit der genetischen Information eines Lebewesens. Wohl die Mehrzahl der im Genom getragenen Gene dienen jedem individuellen Lebewesen zu dessen Lebenserfüllung. Dies betrifft vornehmlich die immer nötigen Stoffhaushaltgene, zusätzlich aber auch spezielle Gene von Nutzen unter gewissen Lebensbedingungen. Bei mehrzelligen Lebewesen sind auch die entwicklungsbiologisch wirksamen Gene dazu zu zählen. Im Gegensatz dazu trägt das Genom aber auch Evolutionsgene. Wie schon dargelegt, wirken deren Produkte als Generatoren und Modulatoren von genetischer Variation in biologisch sinnvoller Dosierung. Diese Gene wirken auf der Ebene von

Populationen und dienen der langfristigen Lebensentfaltung, der Biodiversität. In der Wirklichkeit ist die Situation noch ein wenig komplizierter. Die Produkte gewisser Gene können nämlich beiden der hier erwähnten Zwecke dienen, sowohl der Lebenserfüllung des Individuums wie auch der langfristigen Lebensentfaltung von Populationen mittels Evolution. Trotzdem dürfen wir prinzipiell zwischen den zwei verschiedenartigen Zwecken der im Genom getragenen genetischen Informationen unterscheiden. Der so definierte Dualismus ist für unser Lebensverständnis von großer Bedeutung. Wir können wahrnehmen, daß die biologische Evolution nicht wie oft beschrieben auf Fehler und Unfälle im Erbgut zurückgeht, sondern einem eigenständigen, aktiven Naturprozeß zugeschrieben werden darf.

6.5 Die Theorie der molekularen Evolution offeriert eine Antwort auf die Theodizeefrage

Wie schon eingehend dargelegt wurde, tragen mehrere verschiedene Mechanismen und Strategien zur gelegentlichen Erzeugung genetischer Varianten bei. In Populationen von Bakterien trifft dies pro Generation zwischen 0,1 und 1 % der Zellen. Wir haben auch gesehen, daß nur wenige der neuen Mutanten funktionell günstige Verbesserungen aufweisen, während viele der genetischen Varianten in einer ihrer Funktionen gestört sind und so einen selektiven Nachteil erleiden. Dazu gehören auch genetisch bedingte Krankheiten, Erbkrankheiten.

Die Theodizeefrage sucht nach Gründen, die Gott dazu bewegen könnten, den Menschen und auch anderen Lebewesen hin und wieder ein Unheil zuzumuten. Nach der in den Abschnitten 6.2 und 6.3 umschriebenen Auffassung ist für Gott nicht nur das Leben als solches ein wichtiges Anliegen, sondern auch die biologische Evolution, die wir als einen Prozeß der permanenten Schöpfung zur Erzeugung einer reichhaltigen biologischen Vielfalt kennengelernt haben. Hier begegnen wir einem zweiten Dualismus, der ebenfalls mit den Evolutionsgenen zu tun hat. Es liegt im Wesen des Evolutionsprozesses, den man auch als Selbstorganisation verstehen könnte, daß einzelne Individuen in Populationen von Lebewesen von einer neuen Mutation getroffen werden, welche sich in den vorgefundenen Lebensbedingungen als ungünstig erweist. Diese Individuen und deren allfällige Nachkommen sind Opfer des prinzipiell wunderbaren und auch erfolgreichen Evolutionsprozesses, in dem andere neumutierte Individuen Gewinner sind. In den naturgegebenen evolutiven Aktivitäten der Erzeugung einer reichen Lebensvielfalt sehen wir also ein Nebeneinander von physisch Gutem und physisch Bösem. Die in diesen Aussagen liegende Antwort auf die Theodizeefrage gilt in spezifischer Weise ausschließlich für den Prozeß der biologischen Evolution. Sie soll nicht verallgemeinert werden, und sie soll auch nicht auf moralisch Gutes und Böses übertragen werden.

7. Kurzer Rück- und Ausblick

Die biologische Forschung und der naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinn haben in den letzten 150 Jahren enorme Fortschritte in unserem Wissen über Lebensprozesse gebracht. Dies betrifft auch die biologische Evolution, ausgehend von DARWINS Abstammungslehre über den Neo-Darwinismus bis hin zur Theorie der molekularen Evolution. Sicher wird unser Wissen über die biologische Evolution in den kommenden Jahrzehnten weiter vertieft werden. Dies bedingt auch intensive Bestrebungen, um das verfügbar werdende Wissensgut in unser Weltbild aufzunehmen, wo es das den Menschen verfügbare Orientierungswissen bereichern kann.

Dies erscheint uns von besonderer Bedeutung als Grundlage zum Wahrnehmen von Verantwortung durch die Zivilgesellschaft für einen nachhaltigen Umgang mit unserer Umwelt und insbesondere mit der biologischen Vielfalt.

Literatur

- ARBER, W.: Elements in microbial evolution. *J. Mol. Evol.* 33, 4–12 (1991)
- ARBER, W.: Genetic variation: molecular mechanisms and impact on microbial evolution. *FEMS Microbiol. Rev.* 24, 1–7 (2000)
- ARBER, W.: Evolution of prokaryotic genomes. *Curr. Top. Microbiol. Immunol.* 264A, 1–14 (2002)
- ARBER, W.: Elements for a theory of molecular evolution. *Gene* 317, 3–11 (2003)
- ARBER, W.: Genetic variation and molecular evolution. In: MEYERS, R. A. (Ed.): *Encyclopedia of Molecular Cell Biology and Molecular Medicine*. Vol. 5, pp. 331–352. Weinheim: Wiley-VCH 2004
- AVERY, O. T., MACLEOD, C. M., and MCCARTHY, M.: Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation in pneumococcal types. Induction of transformation by a desoxyribonucleic acid fraction isolated from *Pneumococcus* Type III. *J. Exptl. Med.* 79, 137–158 (1944)
- SENGSTAG, C., and ARBER, W.: A cloned DNA fragment from bacteriophage P1 enhances IS2 insertion. *Mol. Gen. Genet.* 206, 344–351 (1987)
- VAWTER, B.: Book of Genesis. In: *The Encyclopedia Americana*. Vol. 12, pp. 393–395. New York: Americana Corporation 1973
- WATSON, J. D., and CRICK, F. H. C.: Molecular structure of nucleic acids. A structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature* 171, 737–738 (1953)
- WEBER, M.: Evolutionary plasticity in prokaryotes: a panglossian view. *Biol. Philos.* 11, 67–88 (1996)

Prof. Dr. Werner ARBER
 Biozentrum
 Universität Basel
 Klingelbergstraße 70
 4056 Basel
 Schweiz
 Tel.: +41 61 2672130
 Fax: +41 61 2672118
 E-Mail: werner.arber@unibas.ch

Vom Prokaryoten zum Eukaryoten

Uwe G. MAIER (Marburg)

Mit 1 Abbildung



Zusammenfassung

Erst in den letzten Jahren konnte gezeigt werden, daß in gut untersuchten eukaryoten Zellen entweder Mitochondrien oder Derivate der Mitochondrien, die Hydrogenosomen und Mitosomen, nachzuweisen sind. Somit hat es den Anschein, daß die Evolution der eukaryoten Zellen einherging mit der Etablierung eines Mitochondriums aus einem ehemals freilebenden Bakterium innerhalb eines Zytoplasmas, das von einer weiteren Zelle abstammt. Dieses erfolgreiche Prinzip, Internalisierung anderer Organismen und Nutzung der neugewonnenen Leistungen für eigene Interessen, wurde auch bei der Evolution pflanzlicher Zellen angewandt. Hier jedoch sind, wie neuere Belege zeigen, nicht nur Bakterien stabil integriert worden, sondern es wurden darüber hinaus auch eukaryote Zellen zellulär versklavt und auf das für die Wirtszelle Nützliche reduziert.

Abstract

Recently it was shown that all investigated eukaryotic cells harbor either a mitochondrion or one of the derivatives of mitochondria, hydrogenosomes or mitosomes. Thus, it appears that the evolution of modern eukaryotic cells was coupled with the establishment of a mitochondrion within a cytoplasm of another cells. Internalization of organisms and utilization of new benefits introduced by the symbiont was a successful strategy in the evolution of plants, as well. However, plants evolved not only by internalization of bacteria, but also by the enslavement and intracellular reduction of eukaryotic cells, thereby creating cells within cells within cells.

1. Einleitung

Auf unserem Planeten leben mehrere hunderttausend verschiedene Arten von Lebewesen, die ihrerseits eine enorme Populationsgröße haben können. Diese Vielfalt ist das Ergebnis von Anpassungen an verschiedene Biotope und unterschiedliche Lebensweisen. Aus der Sicht eines Zellbiologen spiegelt sich diese ungeheure Fülle an Organismen nicht in ihrem zellulären Aufbau wider. Denn jeder Organismus ist aus einer, wenigen oder vielen Zellen aufgebaut, die einem von zwei möglichen Grundmustern, dem prokaryoten oder eukaryoten Zellaufbau, entsprechen. Die Bakterien haben einen Zellkorpus, der, mikroskopisch betrachtet, nur wenig strukturiert ist. Solche Zelltypen werden Procyten bzw. prokaryote Zellen genannt. Demgegenüber besitzen alle anderen Organismen, zu denen die Protozoen, Algen, Pilze, Flechten, Pflanzen, Tiere und auch die Menschen gehören, eukaryote Zellen, die mehr oder weniger strukturiert sind. Dies wird durch Zell-interne Membranen ermöglicht, die in sich geschlossen sind und Reaktionsräume umgeben. Solche Reaktionsräume inklusive der umgebenden Membran werden Kompartimente genannt und sind typisch für eukaryote Zellen.

Diese zytologische Dichotomie reflektiert nicht die Phylogenie. Denn spätestens seit den wegweisenden Arbeiten von C. WOESE, O. KANDLER und M. WHEELIS (1990) ist allgemein akzeptiert, daß zwar alle eukaryoten Zellen aus einem Vorläufer entstanden sind, die prokaryoten jedoch aufgrund biochemischer, molekularbiologischer und phylogenetischer Unterschiede in zwei „Gruppen“ aufgeteilt werden müssen, in die Archaea („Archaebakterien“) und Bacteria („Eubakterien“). Während zu den Bacteria diejenigen Bakterien gehören, die allgemein bekannt sind und die z. B. in unserem Darm oder im Joghurt vorkommen, wurden die Archaea zunächst an Extremstandorten, wie z. B. heißen Quellen, identifiziert. Effiziente Analysemethoden zeigen jedoch, daß auch die Archaea weit verbreitet sind. Aufgrund dieser Erkenntnisse sollte somit ein natürliches System der Organismen eine Dreiteilung aufweisen, nämlich in die drei Domänen Bacteria, Archaea und Eukarya.

An Hand von Fossilien oder indirekten Spuren von Leben ist erwiesen, daß Formen der Bacteria möglicherweise schon vor mehr als drei Milliarden Jahren existiert haben (SCHOPF und PACKER 1987, TICE und LOWE 2004). Demgegenüber sind die ersten Spuren von Eukaryoten mit ca. 1,2 Milliarden Jahren vergleichsweise jung (BUTTERFIELD 2000). Es stellt sich also die Frage, ob die Eukaryoten eine eigenständige Entwicklungslinie sind oder ob sie möglicherweise eine Weiterentwicklung der bakteriellen Lebensformen darstellen.

Wichtig für diese Frage ist zunächst die Ultrastruktur der eukaryoten Zellen. Unter den bereits genannten Kompartimenten, die eine eukaryote Zelle auszeichnen, waren und sind besonders zwei zelluläre Komponenten für ein Verständnis der Phylogenie eukaryoter Zellen wichtig, die Mitochondrien und die Plastiden. Die Mitochondrien sind von einer Doppelmembran umgeben und stellen die sogenannten Kraftwerke der Zelle dar. In ihnen wird ein Großteil des „Euros der Zellen“, ATP, synthetisiert und der Zelle für weitere Synthesen zur Verfügung gestellt. Auch die Plastiden sind von einer doppelten Membran umgeben. In ihnen wird Lichtenergie genutzt, um energiereiche Verbindungen zu bilden, die dann ihrerseits wieder zur ATP-Produktion genutzt werden können.

Bereits in den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts konnte die Existenz eines eigenen Genoms in Mitochondrien und Plastiden nachgewiesen werden (RIS und PLAUT 1962, NASS und NASS 1963a, b). Diese Tatsache, zusammen mit der Organisation und Vererbung der Mitochondrien und Plastiden, ließ bereits einen Ursprung dieser Organellen vermuten, der durch

die Inkorporation eines Bakteriums in die eucytische Zelle erklärt werden kann (RIS 1961, SCHNEPF 1964). Es dauerte allerdings noch einige weitere Jahre, bis der bakterielle Ursprung der Mitochondrien und Plastiden durch die wegweisenden Arbeiten von Lynn MARGULIS (1970) allgemein anerkannt wurde. Allerdings hatte ein russischer Gelehrter, C. MERESCHKOWSKY, bereits 1905 die Entstehung der Plastiden durch die Inkorporation eines Bakteriums postuliert und gilt heute als der Vater der Endosymbionten-Theorie.

Die Endosymbionten-Theorie besagt in einer modernen (und vereinfachten) Form, daß die Mitochondrien und Plastiden auf vormals freilebende bakterielle Formen zurückgehen, die in eine eukaryote Wirtszelle integriert und zu den heutigen Organellen reduziert wurden. Somit sind die effizientesten ATP-generierenden Systeme der Eucyte prokaryoter Herkunft und keine eigene Erfindung.

2. Die Phylogenie der eukaryoten Zelle

Elektronenmikroskopische Untersuchungen sowie die mit den Fortschritten der Molekularbiologie und Bioinformatik ermöglichten phylogenetischen Einordnungen der eukaryoten Zelle zeigten zunächst ein kohärentes Bild der Evolution der Eukaryoten auf, das bis in die 1990er Jahre Bestand hatte (siehe als Beispiel: SOGIN et al. 1993, HASEGAWA und HASHIMOTO 1993). Die Eukaryoten sind, nach dieser Vorstellung, eine monophyletische Gruppe („ein Stamm“, d. h. von einem Vorläufer abstammend), die in früh und spät von der gemeinsamen Abstammungslinie abzweigende Gruppen unterteilt werden kann. Da zudem die früh abzweigenden Gruppen keine Mitochondrien besitzen, wurde angenommen, daß die Mitochondrien (und Plastiden) erst nach der Entstehung der Eukaryoten etabliert wurden (CAVALIER-SMITH 1987). Die früh abzweigenden, Mitochondrien-freien Gruppen, zu denen die Trichomonaden, Diplomonaden und zunächst auch die Mikrosporidien zählten, wurden als Archaezoa (z. B. CAVALIER-SMITH 1989) zusammengefaßt. Somit konnte rekonstruiert werden, ab welcher Organismengruppe freilebende Bakterien als Mitochondrien etabliert worden sind. Dieses Bild einer sukzessiven Evolution der Eucyten wurde in den letzten Jahren stark modifiziert. Ausschlaggebend waren zunächst eine effiziente Elektronenmikroskopie und Biochemie sowie Genomprojekte, die u. a. die Entschlüsselung der genomischen Information der Archaezoa zum Ziel hatten.

Mitochondrien benötigen Sauerstoff, um effizient ATP zu generieren. Deshalb überrascht es nicht, daß strikt anaerob lebende Organismen, zu denen die Archaezoa in der Regel gehören, keine Mitochondrien besitzen. Überraschend war jedoch, daß einige, aber eben nicht alle dieser Archaezoa ein Zellkompartiment besitzen, das in aeroben Formen nicht vorkommt. Dieses ist wie die Mitochondrien von zwei Membranen umgeben und zeigt keine auffällige Gliederung der inneren Membran (LINDMARK und MÜLLER 1973). Da diese Kompartimente Wasserstoff produzieren, wurden sie Hydrogenosomen genannt (LINDMARK und MÜLLER 1973). Biochemische Analysen zeigten weiterhin, daß in Hydrogenosomen ATP produziert wird, allerdings über einen gänzlich anderen Mechanismus als in Mitochondrien. Hydrogenosomen sind somit ungewöhnliche Kompartimente, die allerdings Eigenschaften wie die umgebende Doppelmembran besitzen, die für einen endosymbiontischen Ursprung sprechen (HACKSTEIN et al. 2001, VAN DER GIEZEN und TOVAR 2005, MARTIN 2005).

Bis auf Ausnahmen (AKHMONOVA et al. 1998, BOXMA et al. 2005) besitzen Hydrogenosomen kein eigenes Genom und keine eigene Maschinerie, um Proteine zu synthetisieren. Dies

erfordert, daß alle in den Hydrogenosomen vorkommenden Proteine importiert werden müssen.

Mitochondriale Proteine, die im Zellkern kodiert sind und ihren endgültigen Bestimmungsort innerhalb der Mitochondrien finden müssen, besitzen Zielsteuerungssequenzen, die den Transfer über die umhüllenden Membranen gewährleisten (WIEDEMANN et al. 2004, NEUPERT und BRUNNER 2002). Darüber hinaus ist bekannt, daß diese Proteine in einer nicht-gefalteten Form importiert werden und erst innerhalb der Mitochondrien von sogenannten Chaperonen in eine spezifische dreidimensionale Struktur gefaltet werden. Einige dieser Chaperone sind wichtige Indikatoren für die Existenz von Kompartimenten, die aus der Internalisierung und zellulären Adaptation von Bakterien entstanden sind. Da diese Moleküle in ihrer Sequenz eine große phylogenetische Information offenbaren, sind sie beliebte Untersuchungsobjekte und sehr hilfreich bei der Erkundung von zellulärem „Neuland“. Phylogenetische Analysen an hydrogenosomalen Chaperonen offenbarten nun die Herkunft der Hydrogenosomen, da gezeigt werden konnte, daß diese hydrogenosomalen Proteine eindeutig mit mitochondrialen Proteinen verwandt sind und damit von einem gemeinsamen Vorläufer abstammen (z. B. GERMOT et al. 1996). Dieser Befund legt den Schluß nahe, daß die Vertreter mit Hydrogenosomen zwar immer noch frei von Mitochondrien sind, allerdings ein Kompartiment besitzen, das als anaerobe Anpassung der Mitochondrien (oder *vice versa*) verstanden werden kann (YARLETT und HACKSTEIN 2005).

Mit der Entdeckung und Einordnung der Hydrogenosomen ist die Gruppe der Archaezoa zwar kleiner geworden, allerdings gibt es noch eine Reihe von Organismen, die keine Mitochondrien und keine Hydrogenosomen besitzen. Sind diese nun die authentischen Archaezoa, ursprüngliche Eukaryoten, die aus der gemeinsamen Entwicklungslinie aussicherten, bevor ein Bakterium als Vorläufer der Mitochondrien und Hydrogenosomen etabliert wurde? Einen biochemischen Ansatz zur Klärung dieser Frage lieferten Arbeiten an der Bierhefe. Dieser Organismus ist molekularbiologisch gut zugänglich und dient in vielen Bereichen als Modellorganismus zur Aufklärung eukaryoter Leistungen.

Es wird angenommen, daß Eisen-Schwefel-Verbindungen bereits bei der Entstehung von Zellen auf unserem Planeten eine wichtige Rolle gespielt haben (WÄCHTERSCHÄUSER 2002, MARTIN und RUSSEL 2003). Eisen-Schwefel-Cluster (Fe-S-Cluster) sind universell in Pro- und Eukaryoten präsent und spielen eine zentrale Rolle u. a. beim Elektronentransfer oder bei metabolischen Regulationen. In den letzten Jahren wurde die Biosynthese von Fe-S-Clustern in weiten Teilen aufgeklärt (LILL und MÜHLENHOFF 2005). Hierbei wurde entdeckt, daß Fe-S-Cluster, die von zytoplasmatischen Proteinen eukaryoter Zellen benötigt werden, in Mitochondrien synthetisiert und in das Zytoplasma exportiert werden. Hydrogenosomen übernehmen diese Aufgabe in anaerob lebende Organismen (VAN DER GIEZEN und TOVAR 2005). Da auch Mitochondrien- und Hydrogenosomen-freie Organismen Fe-S-Cluster für zytoplasmatische Proteine benötigen, stellte sich die Frage, wie diese in Mitochondrien- und Hydrogenosomen-freien Organismen synthetisiert werden.

3. Mitochondrien- und Hydrogenosomen-freie Organismen besitzen rudimentäre Mitochondrien

Die gezielte Suche nach phylogenetisch informativen Chaperonen zeigte bereits in den 1990er Jahren, daß Mitochondrien- und Hydrogenosomen-freie Organismen Moleküle besitzen, die

spezifisch für Mitochondrien sind (ROGER et al. 1998). Darüber hinaus wurden bei einigen dieser Organismen Gene für Komponenten zur Fe-S-Cluster-Biosynthese identifiziert (TOVAR et al. 2003). Diese Befunde können auf verschiedene Weise interpretiert werden. Eine Möglichkeit ist der sekundäre Verlust von Mitochondrien. Denkbar ist weiterhin, daß diese Gene von einem Mitochondrien-haltigen Organismus abstammen und in den Zellkern der Mitochondrien-freien transferiert worden sind. Als richtig hat sich allerdings eine weitere Möglichkeit herausgestellt.

Es ist heutzutage möglich, mittels elektronenmikroskopischer Methoden Proteine subzellular zu lokalisieren. Dieses Methodenrepertoire wurde angewandt, um bei Vertretern der Organellen-freien Organismen, wie z. B. *Giardia lamblia*, Komponenten der Eisen-Schwefel-Cluster-Biosynthese zu lokalisieren (TOVAR et al. 2003). Hierbei wurde entdeckt, daß *G. lamblia* ein in früheren Untersuchungen übersehenes Kompartiment besitzt, das von einer Doppelmembran umgeben ist und in dem die Proteine für die Fe-S-Cluster-Biosynthese lokalisiert sind. Dieses Kompartiment wurde Mitosom benannt und sollte, wie auch phylogenetische Untersuchungen zeigten, eine rudimentäre Form der Mitochondrien darstellen, in denen, wie in Mitochondrien und Hydrogenosomen, Fe-S-Cluster synthetisiert werden. Somit muß das Archaezoa-Prinzip endgültig aufgegeben werden, da alle untersuchten eukaryoten Organismen entweder ein Mitochondrion oder ein phylogenetisch verwandtes Derivat besitzen könnten.

4. Die mögliche Entstehung der eukaryoten Zelle

Die Erkenntnis, daß die Evolution der eukaryoten Zelle mit der Existenz eines Mitochondrions bzw. eines Mitochondrien-Derivats gekoppelt sein kann, führte zu einer Reihe von Hypothesen, die die Entstehung der ersten eukaryoten Zelle erklären können. Wenn auch noch nicht in allen Einzelheiten bewiesen, ist die Hydrogen-Hypothese (MARTIN und MÜLLER 1998) wegweisend für das weitere Denken und hat einige der oben beschriebenen Befunde vorhergesagt. Nach der Hydrogen-Hypothese ist die erste eukaryote Zelle aus der Symbiose eines Vertreters der Archaea mit einem Bakterium entstanden, wobei das Archäobakterium ein Wasserstoff-konsumierender, Methan-generierender Prokaryot gewesen sein soll, während der Symbiont ein fakultativ anaerobes, Wasserstoff-produzierendes Bakterium war (MARTIN und MÜLLER 1998). Innerhalb dieses Konsortiums wurde der spätere Wirt, das Wasserstoff-fixierende Archäobakterium, abhängig vom Wasserstoff-Produzenten. Dies führte dazu, daß der Wirt einen möglichst engen Kontakt zum Wasserstoff-Produzenten suchte. Nach der Wasserstoff-Hypothese wurde schließlich der Symbiont in den Zellkorpus des Archäobakteriums internalisiert, nachdem die funktionellen Voraussetzungen hierfür geschaffen waren. Letzteres wurde durch den Transfer von Genen aus dem Symbionten in das Genom des archäobakteriellen Wirtes ermöglicht, was eine dramatische Änderung des Stoffwechsels des Wirtes heraufbeschwor. Unter diesen Prämissen wäre der erste Eukaryot eine Kombination zweier Bakterien, die zu einer neuen Einheit mit einem archäobakteriellen Zytoplasma und einem eubakteriellen Mitochondrion zusammengefunden haben.

5. Die Evolution der Pflanzen

Die Zellen der Pflanzen unterscheiden sich in einigen Aspekten von denen der Tiere. Besonders auffällig sind die Plastiden, Kompartimente, in denen Pflanzen Photosynthese betrei-

ben. Bereits 1905 hatte C. MERESCHKOWSKY postuliert, daß Plastiden keine Erfindung der eukaryoten Zelle darstellen, sondern durch die Inkorporation eines Bakteriums entstanden sind (Abb. 1). Heutzutage wissen wir, daß dieses Postulat richtig war (STOEBE und MAIER 2002). Der Symbiont, der zu einer Plastide reduziert wurde, war ein Bakterium, das den heutigen Cyanobakterien vergleichbar gewesen sein sollte. Nach dessen Aufnahme wurde der Symbiont innerhalb der Wirtszelle stark reduziert, was sich besonders an den nunmehr zwei umhüllenden Membranen sowie einem gewaltigen Gentransfer vom Genom des Symbionten in das des Zellkerns aufzeigen läßt (MARTIN et al. 2002, CAVALIER-SMITH 2003). Zweifellos war solch eine Symbiose eine extrem erfolgreiche zelluläre Innovation, die auch die Basis unseres Lebens darstellt. Denn Plastiden mit zwei Hüllmembranen finden sich nicht nur in den Grünalgen, den Rotalgen, und einer weiteren Algengruppe, den Glaucocystophyten, sondern auch in allen Landpflanzen, die die Voraussetzung unserer Ernährung sind.

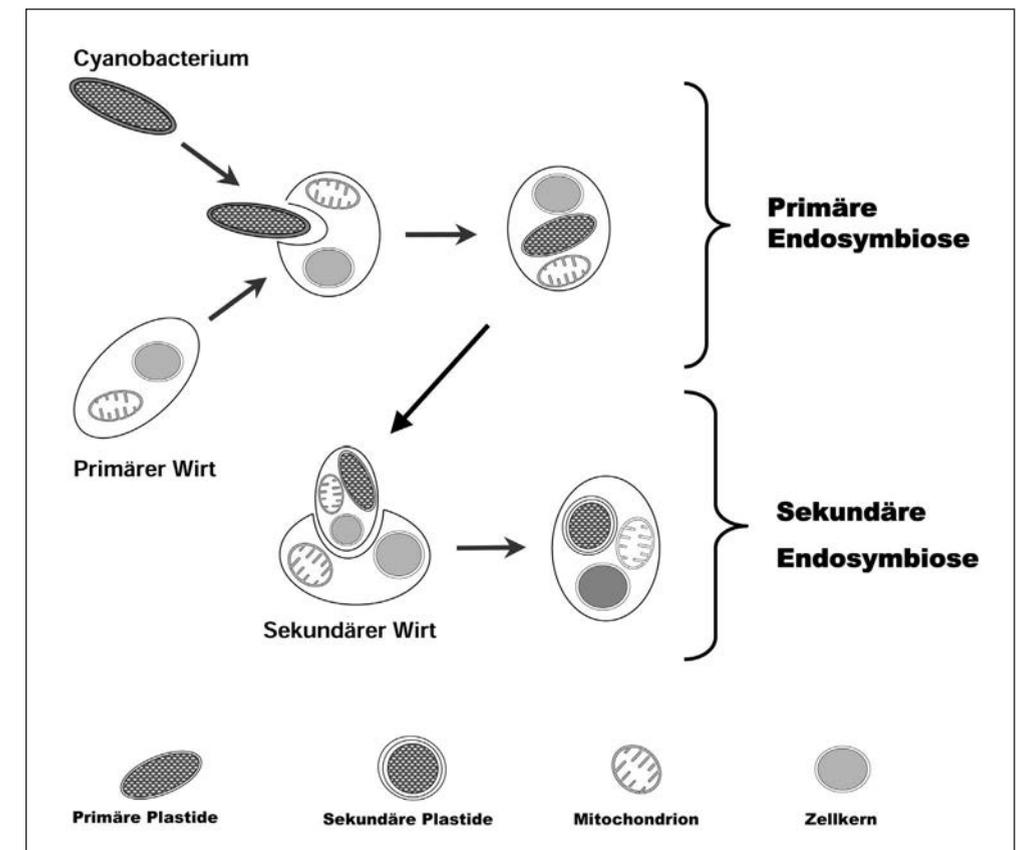


Abb. 1 Zellevolution mittels Endosymbiose am Beispiel der Plastidenentwicklung. Die Aufnahme und intrazelluläre Reduktion einer Cyanobakterien-ähnlichen Zelle führte in primärer Endosymbiose zu eukaryoten Organismen, die Plastiden mit zwei umgebenden Membranen besitzen. In sekundärer Endosymbiose wurde eine Plastiden-tragende Zelle von einem weiteren Eukaryoten aufgenommen und zu einer Plastide reduziert. Solche Zellen besitzen Plastiden mit mehr als zwei umhüllenden Membranen. Für Einzelheiten siehe Text.

Elektronenmikroskopische Untersuchungen an einigen anderen Algengruppen zeigten, daß eukaryote Zellen weitere Strategien entwickelt haben, um Plastiden stabil in ihren Zellkorpus zu integrieren. Eine dieser Strategien führt zu sogenannten komplexen Plastiden, die neben den bereits bekannten zwei Plastidenmembranen über mindestens eine weitere umhüllende Membran verfügen. Da die Evolution dieser komplexen Plastiden mit dem Mereschkowsky'schen Postulat nicht zu erklären ist, mußten Zusatzannahmen postuliert werden, die in einer neuen Hypothese mit dem Namen „sekundäre Endosymbiose“ beschrieben wurden. Nach dieser Hypothese sind komplexe Plastiden entstanden, indem nicht ein Bakterium, sondern ein Plastiden-besitzender, eukaryoter Organismus von einer anderen Zelle internalisiert und zu einer komplexen Plastide reduziert wurde (Abb. 1) (GIBBS 1981). Somit wären sekundär evolvierte Organismen „Zellen in Zellen in Zellen“.

Zwei Algengruppen, die Chlorarachniophyten und die Cryptomonaden, waren besonders geeignet, um zu prüfen, ob die Hypothese der sekundären Endosymbiose korrekt ist. In beiden Organismengruppen finden sich Plastiden, die von vier Membranen umgeben sind, ihre Besonderheit besteht darin, daß sie zwischen dem äußeren und inneren Membranpaar ein reduziertes Zytoplasma inklusive eines Zwergenzellkerns, dem Nucleomorph, besitzen (GREENWOOD 1974, HIBBERD und NORRIS 1984). Die Schlußfolgerung lag nahe, daß es sich hierbei um Relikte des eukaryoten Zytoplasmas und des Zellkerns des sekundären Endosymbionten handeln könnte. Dies konnte in der Tat in phylogenetischen Untersuchungen bewiesen werden (DOUGLAS et al. 1991, MAIER et al. 1991, MCFADDEN et al. 1994). Mehr noch, die Analysen zeigten, daß sekundäre Endosymbiose mehrfach unabhängig stattgefunden hat, da die Chlorarachniophyten einen Symbionten aus der Grünalgen-Linie etablierten, während der Symbiont bei den Cryptomonaden von einer Rotalge abstammt (VAN DE PEER et al. 1996). Mit den Heterokontophyten, Haptophyten und wahrscheinlich auch mit Peridinin-haltigen Dinoflagellaten konnten weitere Gruppen identifiziert werden, die eine Rotalge als Symbionten aufgenommen haben. Ein sicherer weiterer Vertreter mit einem Symbionten aus der Grünalgenlinie sind die Euglenophyta (KEELING 2004).

Mit der Etablierung eines eukaryoten, phototrophen Symbionten wurden zwei eukaryote und drei prokaryote Genome in einer neuen, chimären Zelle vereinigt. Dieses enorme genetische Potential führte dazu, daß sich oben beschriebene, ökologisch sehr erfolgreiche Organismen evolvieren konnten. Die intrazelluläre Vereinigung der Genome und die damit einhergehende Neukombination ermöglichte neue biochemische Leistungen, zu denen der Wirt alleine nicht befähigt war. Mehr noch, durch die Etablierung einer Plastide innerhalb einer vormals heterotrophen Zelle konnte auch der Stoffwechsel weiter kompartimentiert werden, da mit der Plastide ein neuer Reaktionsraum zur Verfügung stand. Daß dies verwirklicht wurde, zeigt sich besonders eindrucksvoll an den Apicomplexa. Zu dieser Organismengruppe gehören mit *Plasmodium falciparum*, dem Erreger der Malaria, und *Toxoplasma gondii*, dem Erreger der Toxoplasmose, wichtige intrazellulär lebende Parasiten des Menschen. Initiale elektronenmikroskopische Untersuchungen an diesen Organismen zeigten eine zunächst funktionell nicht einzuordnende Zellinklusion, die u. a. als „Vakuole mit dicker Wandung“ oder auch als „Hohlzylinder“ beschrieben wurde (MCFADDEN et al. 1997). Einen ersten Hinweis auf eine mögliche Funktion dieser Zellinklusion erbrachten frühe Untersuchungen der Genome dieser Parasiten. Man ging zunächst davon aus, daß die Apicomplexa als intrazelluläre Parasiten zwei unterschiedliche Genome besitzen, die dem Zellkern bzw. dem Mitochondrion entstammen. Überraschenderweise wurde ein drittes identifiziert, das aufgrund seiner Struktur und Sequenz typische Kennzeichen eines Plastidengenoms aufweist (WILSON et

al. 1996). Eine erneute ultrastrukturelle Untersuchung der Parasiten zeigte schließlich, daß das dritte Apicomplexa-Genom in einer Struktur lokalisiert ist, die von vier Membranen umgeben ist (MCFADDEN et al. 1996, KÖHLER et al. 1997). Diese Struktur, inklusive des darin identifizierten Genoms, läßt nun keinen anderen Schluß zu, als daß es sich hierbei um eine komplexe Plastide handeln muß, die Apicoplast benannt wurde. Somit kann die Evolution der Apicomplexa zurückverfolgt werden. Die Vorläufer der intrazellulären Parasiten mußten Algen gewesen sein, die in sekundärer Endosymbiose entstanden sind. Diese änderten ihr Biotop und wurden zu intrazellulären Parasiten. Dies ging mit dem Verlust der Fähigkeit zur Photosynthese und einer Reduktion der Plastide inklusive ihres Genoms einher. Da jedoch weitere biochemische Syntheseketten, die für den Gesamtorganismus essentiell sind, in der Plastide lokalisiert sind, konnte der Apicoplast nicht eliminiert werden, obwohl das initiale Interesse an ihm, die Photosynthese, nicht mehr bestand.

6. Resümee

Die Evolution der eukaryoten Zelle ist von Neuerfindungen geprägt, die das Funktionieren dieser Zellen ermöglichen. Hierzu zählt die intrazelluläre Kompartimentierung, die es erlaubt, den Stoffwechsel in verschiedene Reaktionsräume aufzuteilen. Auch das namensgebende Kompartiment, der Zellkern, könnte eine eukaryote Errungenschaft sein. Dennoch sind, wie die aktuelle Forschung zeigt, die revolutionären Neuentwicklungen eukaryoter Zellen, die Mitochondrien und Plastiden, keine selbständigen Erfindungen der eukaryoten Zelle, sondern durch die Internalisierung und Reduzierung von Pro- bzw. Eukaryoten entstanden. Mehr noch, neue Hypothesen postulieren, daß die erste eukaryote Zelle aus der Fusion zweier Bakterien entstammt. Unter dieser Prämisse bekommt die Endosymbiontentheorie auch einen Stellenwert, der sie vielleicht vergleichbar macht mit den revolutionären Ideen von GALILEO, DARWIN und FREUD und uns aufzeigt, daß nicht einmal unsere Zellen etwas „Einzigartiges“ sind, sondern ursprünglich bakterieller Natur.

Literatur

- AKHMANOVA, A., VONCKEN, F., VAN ALEN, T., VAN HOEK, A., BOXMA, B., VOGELS, G., VEENHUIS, M., and HACKSTEIN, J. H.: A hydrogenosome with a genome. *Nature* 396, 527–528 (1998)
- BOXMA, B., GRAAF, R. M. DE, VAN DER STAAY, G. W. M., VAN ALEN, T. A., RICARD, G., GABALDÓN, T., VAN HOEK, A. H. A. M., MOON-VAN DER STAAY, S. Y., KOOPMAN, W. J. H., VAN HELLEMOND, J. J., TIELENS, A. G. M., FRIEDRICH, T., VEENHUIS, M., HUYNEN, M. A., and HACKSTEIN, J. H. P.: An anaerobic mitochondrion that produces hydrogen. *Nature* 434, 74–79 (2005)
- BUTTERFIELD, N. J.: *Bangiomorpha pubescens* n. gen., n. sp.: implications for the evolution of sex, multicellularity, and the Mesoproterozoic/Neoproterozoic radiation of eukaryotes. *Paleobiology* 26, 386–404 (2000)
- CAVALIER-SMITH, T.: Eukaryotes with no mitochondria. *Nature* 326, 332–333 (1987)
- CAVALIER-SMITH, T.: Molecular phylogeny: Archaeobacteria and Archaezoa. *Nature* 339, 100–101 (1989)
- CAVALIER-SMITH, T.: Genomic reduction and evolution of novel genetic membranes and protein-targeting machinery in eukaryote–eukaryote chimaeras (meta-algae). *Philos. Trans. R. Soc. London B* 358, 109–134 (2003)
- DOUGLAS, S. E., MURPHY, C. A., SPENCER, D. F., and GRAY, M. W.: Cryptomonad algae are evolutionary chimaeras of two phylogenetically distinct unicellular eukaryotes. *Nature* 350, 148–151 (1991)
- GERMOT, A., PHILIPPE, H., and LE GUYADER, H.: Presence of a mitochondrial-type 70-kDa heat shock protein in *Trichomonas vaginalis* suggests a very early mitochondrial endosymbiosis in eukaryotes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 93, 14614–14617 (1996)

- GIBBS, S. P.: The chloroplasts of some algal groups may have evolved from endosymbiotic eukaryotic algae. *Ann. New York Acad. Sci.* 361, 193–208 (1981)
- GREENWOOD, A. D.: The Cryptophyta in relation to phylogeny and photosynthesis. In: SANDERS, J., and GOODCHILD, D. (Eds.): *Electron Microscopy*; pp. 566–567. Canberra: Australian Academy of Sciences 1974
- HACKSTEIN, J. H., AKHMANOVA, A., VONCKEN, F., VAN HOEK, A., VAN ALEN, T., BOXMA, B., MOON-VAN DER STAAY, S. Y., VAN DER STAAY, G., LEUNISSEN, J., HUYNEN, M., ROSENBERG, J., and VEENHUIS, M.: Hydrogenosomes: convergent adaptations of mitochondria to anaerobic environments. *Zoology* 104, 290–302 (2001)
- HASEGAWA, M., and HASHIMOTO, T.: Ribosomal RNA trees misleading? *Nature* 361, 23 (1993)
- HIBBERD, D. J., and NORRIS, R. E.: Cytology and ultrastructure of *Chlorarachnion reptans* (Chlorarachniophyta division nova, Chlorarachniophyceae classis nova). *J. Phycology* 20, 310–330 (1984)
- KEELING, P. J.: Diversity and evolutionary history of plastids and their hosts. *American J. Botany* 91, 1481–1493 (2004)
- KÖHLER, S., DELWICHE, C. F., DENNY, P. W., TILNEY, L. G., WEBSTER, P., WILSON, R. J., PLAMER, J. D., and ROOS, D. S.: A plastid of probable green algal origin in Apicomplexan parasites. *Science* 275, 1485–1489 (1997)
- LILL, R., and MÜHLENHOFF, U.: Iron-sulfur-protein biogenesis in eukaryotes. *Trends Biochem. Sci.* 30, 133–141 (2005)
- LINDMARK, D. G., and MÜLLER, M.: Hydrogenosome, a cytoplasmic organelle of the anaerobic flagellate *Tritrichomonas foetus*, and its role in pyruvate metabolism. *J. Biol. Chem.* 248, 7724–7728 (1973)
- MAIER, U. G., HOFMANN, C. J. B., ESCHBACH, S., WOLTERS, J., and IGLOI, G. L.: Demonstration of nucleomorph-encoded eukaryotic ribosomal ssu RNA in cryptomonads. *Mol. Gen. Genet.* 230, 155–160 (1991)
- MARGULIS, L.: *Origin of Eukaryotic Cells*. New Haven: Yale University Press 1970
- MARTIN, W.: The missing link between hydrogenosomes and mitochondria. *Trends Microbiol.* 13, 457–459 (2005)
- MARTIN, W., and MÜLLER, M.: The hydrogen hypothesis of the first eukaryote. *Nature* 392, 37–41 (1998)
- MARTIN, M., and RUSSELL, M. J.: On the origins of cells: a hypothesis for the evolutionary transitions from abiotic geochemistry to chemoautotrophic prokaryotes, and from prokaryotes to nucleated cells. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B* 358, 59–85 (2003)
- MARTIN, W., RUJAN, T., RICHLY, E., HANSEN, A., CORNELSEN, S., LINS, T., LEISTER, D., STOEBE, B., HASEGAWA, M., and PENNY, D.: Evolutionary analysis of Arabidopsis, cyanobacterial, and chloroplast genomes reveals plastid phylogeny and thousands of cyanobacterial genes in the nucleus. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99, 12246–12251 (2002)
- McFADDEN, G. I., GILSON, P. R., HOFMANN, C. J. B., ADCOCK, G. J., and MAIER, U. G.: Evidence that an amoeba acquired a chloroplast by retaining part of an engulfed alga. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91, 3690–3694 (1994)
- McFADDEN, G. I., REITH, M. E., MUNHOLLAND, J., and LANG-UNNASCH, N.: Plastid in human parasites. *Nature* 381, 482 (1996).
- McFADDEN, G. I., WALLER, R. F., REITH, M., and LANG-UNNASCH, N.: Plastids in apicomplexan parasites. *Plant Syst. Evol. [Suppl.]* 11, 261–287 (1997)
- MERESCHKOWSKY, C.: Über Natur und Ursprung der Chromatophoren im Pflanzenreiche. *Biol. Centralbl.* 25, 593–604 (1905)
- NASS, S., and NASS, M. M.: Intramitochondrial fibers with DNA characteristics. I. Fixation and electron staining reactions. *J. Cell Biol.* 19, 593–611 (1963a)
- NASS, S., and NASS, M. M.: Intramitochondrial fibers with DNA characteristics. II. Enzymatic and other hydrolytic treatments. *J. Cell Biol.* 19, 613–629 (1963b)
- NEUPERT, W., and BRUNNER, M.: The protein import motor of mitochondria. *Nature Rev. Mol. Cell Biol.* 3, 555–565 (2002)
- RIS, H.: Ultrastructure and molecular organization of genetic systems. *Can. J. Genet. Cytol.* 3, 95–120 (1961)
- RIS, H., and PLAUT, H.: Ultrastructure of DNA-containing areas in the chloroplast of *Chlamydomonas*. *J. Cell Biol.* 13, 383–391 (1962)
- ROGER, A. J., SVARD, S. G., TOVAR, J., CLARK, C. G., SMITH, M. W., GILLIN, F. D., and SOGIN M. L.: A mitochondrial-like chaperonin 60 gene in *Giardia lamblia*: evidence that diplomonads once harbored an endosymbiont related to the progenitor of mitochondria. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95, 229–234 (1998)
- SCHNEPF, E.: Zur Feinstruktur von Geosiphon pyriforme. Ein Versuch zur Deutung cytoplasmatischer Membranen und Kompartimente. *Arch. Mikrobiol.* 49, 112–131 (1964)
- SCHOPF, J. W., and PACKER, B. M.: Early Archean (3.3-billion to 3.5-billion-year-old) microfossils from Warrawoona Group, Australia. *Science* 237, 70–73 (1987)
- SOGIN, M. L., HINKLE, G., and LEIPE D. D.: Universal tree of life. *Nature* 361, 795 (1993)
- STOEBE, B., and MAIER, U. G.: One, two, three: nature's tool box for building plastids. *Protoplasma* 219, 123–130 (2002)
- TICE, M. M., and LOWE, D. R.: Photosynthetic microbial mats in the 3,416-Myr-old ocean. *Nature* 431, 549–552 (2004)
- TOVAR, J., LEON-AVILA, G., SANCHEZ, L. B., SUTAK, R., TACHEZY, J., VAN DER GIEZEN, M., HERNANDEZ, M., MÜLLER, M., and LUCOCQ, J. M.: Mitochondrial remnant organelles of *Giardia* function in iron-sulphur protein maturation. *Nature* 426, 172–176 (2003)
- VAN DE PEER, Y., RENSING, S. A., MAIER, U. G., and WACHTER, R. DE: Substitution rate calibration of small subunit ribosomal subunit RNA identifies Chlorarachnida nucleomorphs as remnants of green algae. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 93, 7732–7736 (1996)
- VAN DER GIEZEN, M., and TOVAR, J.: Degenerate mitochondria. *EMBO Rep.* 6, 525–530 (2005)
- WÄCHTERSCHÄUSER, G.: Discussing the origin of life. *Science* 298, 747–749 (2002)
- WIEDEMANN, N., FRAZIER, A. E., and PFANNER, N.: The protein import machinery of mitochondria. *J. Biol. Chem.* 279, 14473–14476 (2004)
- WILSON, R. J., DENNY, P. W., PREISER, P. R., RANGACHARI, K., ROBERTS, K., ROY, A., WHYTE, A., STRATH, M., MOORE, D. J., MOORE, P. W., and WILLIAMSON, D. H.: Complete gene map of the plastid-like DNA of the malaria parasite *Plasmodium falciparum*. *J. Mol. Biol.* 261, 155–172 (1996)
- WOESE, C. R., KANDLER, O., and WHEELIS, M. L.: Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 87, 4576–4579 (1990)
- YARLETT, N., and HACKSTEIN, J. H. P.: Hydrogenosomes: One organelle, multiple origins. *BioScience* 55, 657–668 (2005)

Prof. Dr. Uwe G. MAIER
 Philipps-Universität Marburg
 Zellbiologie
 Karl-von-Frisch-Straße 80
 35032 Marburg
 Bundesrepublik Deutschland
 Tel.: +49 6421 2821543
 Fax: +49 6421 2822057
 E-Mail: maier@staff.uni-marburg.de

Can Humans Learn from Insect Societies?

Francis L. W. RATNIEKS (Sheffield, UK)

With 1 Table



Abstract

We humans and our primate ancestors are social. However, for most of our evolutionary history we lived in small groups. Since the advent of agriculture, some 10,000 years ago, humans have lived in ever larger and more complex societies, progressing eventually to cities, nations, and the nascent worldwide civilization of the present day. In contrast, insects have been living in societies for as long as 150 million years, and in large complex societies for most of that time.

Can humans, as relative newcomers to social life, learn anything from societies of bees, wasps, ants and termites? Insect and human societies are very different, and it is unlikely that we can benefit by copying features of insect societies directly. Indeed, by human standards an insect society would be excessively totalitarian and unequal. Most individuals in insect societies, the workers, never reproduce and in most species they are also physically different from the reproductive individuals. However, both human and insect societies face common challenges. It is here that we may be able to learn from insects, by gaining insights into the challenges posed by social life rather than by directly copying insect societies.

What insights might we obtain? This article describes three areas in which we may gain useful insights, and focuses mainly on research carried out in my laboratory, the Laboratory of Apiculture and Social Insects in the Department of Animal and Plant Sciences at the University of Sheffield. Social insects can live in dense colonies without succumbing to epidemic diseases. Public health, therefore, is one area in which we may gain insights. Insect societies are by and large harmonious even though the individuals comprising the society do not have identical interests. Conflict resolution is the second area in which we may gain insights. Finally, insect societies have evolved simple yet robust mechanisms for coordinating the activities of the many individuals in a colony. For example, their transport and communication systems are robust, and not so prone to “crashing”, as are many human technological systems. System organization, therefore, is a third area in which we may be able to gain insights.

Zusammenfassung

Wir Menschen und unsere Vorfahren, die Primaten, sind soziale Lebewesen. Dennoch haben wir für die längsten Abschnitte unserer Entwicklungsgeschichte in kleinen Gruppen gelebt. Seit dem Beginn landwirtschaftlicher Tätigkeit vor etwa 10000 Jahren lebten die Menschen in immer größeren und komplexeren Gesellschaften, aus denen sich schließlich Städte, Völker und in heutiger Zeit die Anfänge einer globalen Zivilisation herausbildeten. Im Unterschied dazu leben Insekten bereits seit 150 Millionen Jahren in Gesellschaften, die längste Zeit davon in großen, komplexen Gesellschaften.

Können die Menschen, als relative Neulinge unter den sozialen Lebewesen, etwas von den Gesellschaften der Bienen, Wespen, Ameisen oder Termiten lernen? Insekten- und Humangesellschaften sind grundsätzlich verschieden. Das macht es unwahrscheinlich, daß wir durch eine Übernahme von Charakteristika der Insektengesellschaften direkt etwas gewinnen könnten. Nach menschlichem Verständnis wäre eine Insektengesellschaft in höchstem Maße totalitär und von Ungleichheit geprägt. Die Mehrzahl der Einzeltiere in Insektengesellschaften, die Arbeiter, pflanzen sich niemals fort, zudem unterscheiden sich diese Individuen bei den meisten Arten physisch von den sich reproduzierenden Tieren. Dennoch gibt es für Menschen- und Insektengesellschaften gleichartige Herausforderungen. Hier könnten wir von den Insekten lernen, indem wir die Herausforderungen des sozialen Lebens studieren, nicht aber durch einfaches Kopieren von Insektengesellschaften.

Welche Einsichten wären zu gewinnen? Der Beitrag wendet sich drei Bereichen zu, in denen wir zu wertvollen Erkenntnissen gelangen können und konzentriert sich im wesentlichen auf Forschungsarbeiten in meinem Labor, dem *Laboratory of Apiculture and Social Insects* am *Department of Animal and Plant Sciences* der Universität Sheffield. Vergesellschaftete Insekten können in dichten Kolonien leben, ohne durch Epidemien dezimiert zu werden. Das öffentliche Gesundheitswesen ist somit ein Bereich, in dem sich für uns neue Erkenntnisse ergeben könnten. Insektengesellschaften leben im wesentlichen harmonisch, obwohl die einzelnen Mitglieder der Gesellschaft keine gleich gearteten Interessen verfolgen. Konfliktbewältigung ist also der zweite Bereich, in dem wir zu weiterführenden Erkenntnissen gelangen könnten. Schließlich haben Insektengesellschaften einfache, jedoch robuste Mechanismen zur Koordinierung der Tätigkeiten der Vielzahl von Individuen einer Kolonie entwickelt. So verfügen sie über robuste Transport- und Kommunikationssysteme, die in weitaus geringerem Maße als die Technologiesysteme des Menschen „störanfällig“ sind. Damit bietet sich die Systemorganisation als dritter Bereich an, auf dem wir zu neuen Einsichten gelangen könnten.

1. Introduction

Social insects are familiar animals. Almost every garden in Germany has ants, and social bees and wasps living or foraging in it. In warmer countries termites also occur. Social insects are successful animals, and in some terrestrial ecosystems their combined biomass may exceed that of vertebrate animals (HÖLLDOBLER and WILSON 1990). No one who has visited the tropics can fail to be impressed by the sheer number and ubiquity of social insect nests and workers.

This ecological importance of social insects is one reason why scientists study them. They perform many key roles in terrestrial ecosystems, including acting as predators, scavengers, decomposers, pollinators, herbivores, seed dispersers, and excavators. These activities can be so extensive as to alter the environment on a regional or even global scale. Termites, through their digestion of cellulose with the aid of various gut micro-organisms, contribute approximately 2–5 % of the methane, an important greenhouse gas, released into the atmosphere. Near Lake Malawi in Africa, an entire geological deposit of sand and clay, some 5 m deep and 9000 square kilometers in area, is comprised of material excavated between 100,000 and 10,000 years ago by the mound building termite *Macrotermes falciger* (GRIMALDI and ENGEL 2005). These termites have fungus gardens inside their nest which digest cellulose for the ants. As with humans, farming has led to a great increase in food supply and population size leading to major environmental effects.

Social insects are also of great economic importance, both negative and positive. On the negative side many social insects are pests. In tropical and sub-tropical countries termites eat almost anything made of wood, including the historically-important wooden colonial houses of New Orleans which are under attack by a termite introduced from Asia. In tropical America, *Atta* leafcutter ants consume a large proportion of all leaves, including agricultural plants. Grassland-living species even compete with cattle for grazing. A list of the 100 worst introduced species includes 7 social insect species (5 ants, 1 wasp, and 1 termite) (www.conservationsinstitute.org/invasivespecies.htm). One of these is even a European species, the common wasp *Vespula vulgaris*. Along with its close relative the German wasp (which is found throughout Europe), *Vespula germanica*, these social wasps have been introduced to Australia, New Zealand and other temperate and sub-tropical locations. They frequently build up to populations much greater than in their native area, harming native wildlife and causing problems for people.

On the positive side, social bees are the major pollinators of both agricultural and wild plants. Honeybees, *Apis mellifera*, annually pollinate crops worth many billions of dollars in the USA alone (ROBINSON et al. 1989, CRANE 1990, *National Academy of Sciences* 2006). Each February, approximately 1,000,000 bee hives are relocated into California almond groves to pollinate the almond flowers during their one-month bloom. To ensure adequate pollination, 5 hives per hectare are used. The grower pays the beekeeper a fee for relocating the hives. The fee is sufficient to make it worthwhile for beekeepers to relocate hives even from distances of 1000 km or more. The fee has to be a sufficient incentive for relocating from such great distances because there are insufficient hives in the whole of California to pollinate all the almond trees. A tree that is inadequately pollinated with pollen from other trees will give a greatly diminished harvest.

Honeybees also produce honey and wax. We now take sugar and electric light for granted, but before these became available the honeybee was a major source of sweetness and light

to mankind (ELLIS 2004). Since ancient times honey and wax have been highly prized, and the honeybee was a valued animal. The esteem in which humans hold bees can be seen by the fact that many humans are named bee. The girl's names Deborah and Melissa both mean bee, originating from the Hebrew and Greek languages, respectively. The honeybee also attracted the attention of scholars, including ARISTOTLE who thought that the workers could not be females as they were armed with stings. In other parts of the world, beekeeping developed with other social bee species. In the Yucatan, the Mayans developed beekeeping with the native bee *Melipona beecheii*, which they kept in small hives made from hollow logs (CRANE 1999). The Mayan culture has a bee god and even a pyramid in his honor. Most pre-Columbian Mayan books were destroyed by Spanish priests. One of the few that survived, the Madrid Codex (so-called because it is now in a museum in Madrid) has a section on beekeeping. If our modern culture was almost completely destroyed and only four books remained what is the chance that one of these would mention beekeeping?

The economic importance of honeybees means that much research is directed towards the study of bee diseases, bee breeding, improved beekeeping methods, pollination and so on. But research on social insects is not confined to purely economic questions. Imagine that the honeybee was of no economic benefit to mankind. That it made neither honey nor wax, and did not pollinate crops. Would scientists still study it? The answer, unquestionably, is yes because of the sheer interest in its biology and the important general biological questions that can be investigated by studying honeybees. Charles DARWIN devotes many pages of the *Origin of Species* to social insects (DARWIN 1859). In the chapter on instinct he discusses the evolution of cell building by honeybees, which he refers to as "the most wonderful of all known instincts". The German-Austrian biologist Karl VON FRISCH made one of the most unexpected and remarkable scientific discoveries of the 20th century by showing that honeybee workers can communicate the direction and distance of flower patches to each other by means of the waggle dance (VON FRISCH 1977). Although not a true language in the human sense, the waggle dance is the most complex communication signal of any animal. VON FRISCH referred to the honeybee as a magic well because this one species seemed to be the source of never ending discoveries. In the decades since, VON FRISCH has been proved correct many times as important biological discoveries are repeatedly made with the honeybee. In fact, the social insects as a whole are a magic well. Social insects are studied not just to learn more about social insects, but because they are important and accessible model systems for studying a wide range of important questions in biology. They are literally a gateway to biology.

Recently, the National Institutes of Health of the USA funded the sequencing of the honeybee genome. One of the rationales for this medical research agency to fund honeybee research was because honeybees are relevant to medical science. Honeybees live in dense societies and have diseases, but normally can control their diseases sufficiently to prevent epidemics. This raises another potential reason for studying social insects: humans may be able to learn useful lessons from them. We humans are social, as were our primate ancestors. However, for most of our evolutionary history we lived only in small groups. Since the advent of agriculture, approximately 10,000 years ago, humans have lived in ever larger and more complex societies, progressing to cities, nations, and the nascent worldwide civilization of the present day. In contrast, insects have been living in large societies since the time of the dinosaurs. The first eusocial insects were the termites, which evolved eusociality approximately 150 million years ago. Ants evolved approximately 120 million years ago, and the first eusocial bees, the ancestors of honeybees and bumble bees, evolved about 80 million years ago

(GRIMALDI and ENGEL 2005). Social life presents a variety of challenges. Humans, as the newcomer to living in large societies, may be able to learn from the experienced old hand the social insects. An additional incentive for learning from the social insects is that with their ecological success and approximately 20,000 species they are a proven success.

What might humans learn from insect societies? This article will focus on three areas, with emphasis on research carried out in my laboratory (the Laboratory of Apiculture and Social Insects, Department of Animal and Plant Sciences, University of Sheffield, Sheffield, UK). The first, already touched upon above, is public health. The second is conflict resolution. Insect societies are by and large harmonious even though the many individuals in the society do not have identical interests. Insect societies have evolved policing mechanisms that protect the society from being exploited by the harmful actions of selfish individuals. The third is system organization. Insect societies have evolved simple yet robust mechanisms for coordinating the activities of the many individuals in a colony, and for solving computationally difficult problems that underlie being efficiently organized. For example, the foraging system of an ant or honeybee colony is continually solving the problem of sending foragers to where the food is. Because food resources are constantly changing, this is a complex dynamic problem. It is also the problem faced in many network-based human technological systems, such as the functioning of mobile phone networks, in which the positions and activities of handsets are constantly changing, or an electricity distribution system, in which demand and supply must be matched through a network of generators and transmission lines.

2. Learning from Insect Societies: Insights Yes, Direct Copying No

Although the theme of this essay is that humans may be able to learn from insect societies, I wish to be very clear what I mean by this. In particular, to point out that I do not believe that human life would be improved if we became more like termites, ants, wasps or even bees. Insect and human societies are very different and it is unlikely that we can benefit by directly copying features of insect societies and it is inconceivable that we could benefit from attempting to copy their overall social system. Indeed, by human standards an insect society would be oppressively totalitarian and unequal. This is because most individuals in insect societies, the workers, seldom or never reproduce. Copying this inequality, which is the most fundamental feature of the social insect lifestyle, would be a recipe for disaster in humans.

Inequality in insect societies occurs because insect societies are families. Individuals are prepared to make greater sacrifices for kin than to unrelated individuals, and the workers can be thought of as sacrificing their own reproduction to rear brothers and sisters instead of sons and daughters. In this way, they pass on copies of their genes to future generations even though they do not reproduce directly (HAMILTON 1964, DAWKINS 1976). In most species, this inequality is also manifested in queens and workers that are physically different. Workers have bodies designed to be better at working and worse at reproducing. (In a few genera of bees and ants the workers lack functional ovaries and so are completely sterile, although in most species the workers retain ovaries and so can lay eggs.) Queens have bodies that are designed for reproduction. A queen honeybee can lay 2000 eggs per day, and in the African army ant *Dorylus* the queen can lay tens of thousands of eggs per day. These impressive fecundities are sufficient to generate a society of 50,000 (honeybee) or millions (army ant) of daughter workers.

Although the family is an important building block in human society, society at large is mostly comprised of individuals who are not relatives. On levels above that of the family, human society is built mainly on mutualistic cooperation among non-kin, with varying degrees of coercion to favor cooperation and prevent cheating, rather than the altruistic cooperation among kin found in insect societies. (In this respect it is interesting to note that many groups above that of the family, from club to nation, try to invoke a feeling of kinship. We are encouraged to fight for our motherland or fatherland, or to support our trade union brothers and sisters.) On levels above the family, social insects are at best indifferent to members of their own species, and frequently are deadly rivals. Honeybee colonies rob honey from each other, which frequently results in the victim colony being killed by starvation. Colonies in many ant species have territories that they defend aggressively. Large colonies often kill their smaller neighbors, and may even capture the pupae who work as slaves on reaching adulthood (HÖLLDOBLER and WILSON 1990).

These great differences between human and insect societies mean that directly copying how social insects live is unlikely to benefit humans. (In fact it would be impossible.) But we may be able to benefit from social insects by gaining insights into some of the challenges posed by social life that are common to both social insects and humans. In other words, if we are able to understand the solutions that social insects have evolved to their social challenges we humans may be able to apply these in the design and improvement of some of our own social and technological systems. We are free to use, modify, and combine insights from social insects in any way we chose, as well as to ignore them.

Tab. 1 Some differences between insect societies and human society.

Area of Difference	Insect Societies	Human Society
Are all individuals in society fundamentally equal?	No (queens and workers)	Yes
Society social structure and relatedness among members	Family: high relatedness	Population: low relatedness
Main driver of cooperation	Altruism	Mutualism
Is cultural evolution important?	No	Yes
Is social analysis and engineering possible?	No	Yes

This approach also highlights another major difference between insect and human societies. In humans, cultural evolution is the major driver of social evolution. In the past ten thousand years human society has made massive advances, but there have probably been only minor changes to the individual human. Our cultural knowledge, including our understanding of science, mathematics, agriculture, history and so on, is encoded not in our DNA but in stories, books, and increasingly in electronic databases. In short, human genetics have not changed. Rather, human language and writing have allowed us to encode and transmit a vast amount of information on any topic. This information is transmitted not just vertically from parents to offspring, as is genetic information, but horizontally to non-relatives. The advent of technological aids to information storage and communication, starting with printing and progressing to electronic methods from the telegraph to the internet, mean that information transfer can increasingly be rapid and cheap. This has enabled humans to learn from the experiences of others and to build a collective knowledge base that vastly exceeds that of any single person, or any single generation of people.

3. Areas of Potential Insight

3.1 Public Health and Hygiene

Anyone who has kept insects will know that it can be difficult to keep them healthy. Solitary caterpillars collected in the wild and then kept together in a jar frequently succumb to infection, which rapidly spreads to the others. Insect societies would seem to be an ideal environment for diseases caused by microorganisms to spread. A honeybee nest, for example, is densely packed with bees. At peak population, a colony housed in a hive of 135 liters (kept in 3 deep Langstroth hive boxes) will contain approximately 30,000–50,000 adult bees and 20,000 brood (eggs, larvae, and pupae). The colony also contains many kilograms of stored food, honey and pollen, that are potentially susceptible to attack by microorganisms.

A colony of *Atta* leafcutter ants contains up to approximately one million adult ants and brood. Unlike a honeybee colony, it does not store food. Instead, it has a living fungus garden growing on a compost of finely shredded leaves. The fungus converts the relatively indigestible leaves into more digestible fungus. The ants actually eat the swollen tips of the fungal hyphae. Like a man-made garden, the fungus garden is susceptible to weeds, in this case a parasitic fungus named *Escovopsis* (CURRIE et al. 1999a).

Despite living in dense communities and having gardens and food stores that are also susceptible to attack by microorganisms, insect societies are generally healthy. This is not surprising. If insect societies could not keep harmful microorganisms and other pests in check, the large societies commonly seen today could not have evolved. When insect societies evolved they would have been small, perhaps with just a few workers, and even today many social insect species have small societies, with only 100 or fewer insects at peak population. But in each of the main types of social insect, ants, bees, wasps, and termites, massive societies of over 100,000 individuals have evolved.

So how do large insect societies keep disease-causing microorganisms in check? Research in this area is still at an early stage and few species have been extensively studied. But the existing evidence paints a fairly clear message. Public health is not a result of a single magic bullet against disease-causing microorganisms. Instead, a range of features combine to promote public health.

Because of its economic importance, the honeybee *Apis mellifera* is the best studied social insect and much research has been directed into studying the many pathogens that infect honeybees and the defense abilities of the bees. Honeybees promote public health through adaptations in their morphology, behavior and physiology. On the morphological side, the honey stomach or crop (in which nectar and water are transported back to the nest) is connected to the mid-gut *via* a remarkable organ known as the proventricular valve. This acts not only as a valve, allowing or preventing crop contents to pass further down the gut. It also acts as a filter, with feather-like arms that sweep through the liquid held in the crop, removing pollen grains and other microscopic particles from the crop and passing them to the mid gut. Spores of diseases are also filtered out (BAILEY 1952). Many honeybee diseases, for example the virulent disease called American foulbrood which is caused by the spore-forming bacterium *Paenibacillus larvae*, affect larvae but not adult workers (RATNIEKS 1992). When a larva dies from American foulbrood its body is turned into billions of spores. Although adult workers cannot become infected, they can be contaminated by spores as they try to clean cells con-

taining dead larvae or consume honey stored in the cell. Worker bees feed larvae using crop contents and the contents of glands located in the head. The removal of disease spores from the crop, therefore, reduces the chance that they will be passed to larvae during feeding.

The efficacy of the proventriculus in reducing the transmission of disease spores within the nest is increased by a simple behavior. Honeybee workers defecate while outside the nest. Young workers, who have not yet begun working as foragers, make special cleansing flights in order to defecate (SEELEY 1985). Honeybee workers also have several behaviors designed to remove dead individuals. For example, undertaker bees remove corpses of bees that have died within the nest (VISSCHER 1983), and larvae that have died are often removed from their cells. If this is done promptly it can act as a defense against American foulbrood and other brood diseases (RATNIEKS 1992).

During the winter, honeybee colonies survive by eating honey stored the previous summer. For a colony to survive the winter the honey must not spoil. Honey contains a range of defenses that prevent it from fermenting. Two defenses are a low pH and small quantities of secondary plant chemicals present in nectar, such as menthol. But the most important defense is deceptively simple: low water content (about 18%). This causes the honey to have a high osmotic pressure within which yeasts are physiologically unable to multiply and cause fermentation. High osmotic pressure comes about from two things that the bees do to the nectar when converting it into honey. First, the workers help the excess water to evaporate. They do this in a variety of ways, including by spreading the nectar out in the nest and blowing air through the nest using their wings as fans. When the water content is reduced they then seal the wax cells containing the honey with a wax capping. Second, the workers add an enzyme, invertase, to the nectar. This converts each molecule of the disaccharide sugar sucrose (table sugar), which is the main type of sugar found in nectar, into one molecule of fructose and one of glucose. This two for one trick helps raise the osmotic pressure of the honey, which is a sugar solution, because osmotic pressure depends primarily on the number of molecules in solution. Solutions of high osmotic pressure kill microorganisms or make it difficult for them to reproduce. The worker bees also add a second enzyme, glucose oxidase, to the nectar. When the honey is diluted to feed to brood, this enzyme causes a chemical reaction that releases small quantities of hydrogen peroxide (BURGETT 1990), which is a powerful antibiotic. As a result, honey has marvelous antiseptic and antibiotic properties. The ancient Egyptians made extensive use of honey in their medicine, and honey is extolled for its healing properties in the Quran, the holy book of Islam (CRANE 1990, 1999). Recent research is confirming the value of honey in medicine, particularly in the treatment of burns and skin infections and in promoting more rapid and less painful healing (MOLAN 2001a, b).

Leafcutter ants are similar to honeybees in that they also have to protect their food, in the form of their fungus garden. A colony of *Atta* leafcutter ants contains workers that vary more than 100-fold in mass. The fungus garden is tended by the smallest ants (HÖLDOBLER and WILSON 1990). These ants can groom individual fungal hyphae, and remove the parasitic fungus *Escovopsis* (CURRIE and STUART 2001). Worker leafcutter ants also have *Pseudonocardia* filamentous bacteria living on their bodies, which in some species have a white-grey color as a result (CURRIE et al. 1999b). These bacteria are beneficial mutualists of the ants, because they produce an antibiotic that helps to kill *Escovopsis*. The bacteria are kept in special crypt glands in the workers' exoskeleton, in different places in different genera of fungus-growing ants (CURRIE et al. 2006). The fact that the ants have specialized structures to hold the bacteria shows that the bacteria benefit the ants. The fact that all genera of fungus-growing ants,

which are a single monophyletic group, have these structures indicates that the mutualism goes back millions of years.

As discussed previously, honeybees have generalized defense mechanisms based on different kinds of behavior that help nest hygiene, including defecation outside the nest and the removal of corpses. Such defenses can work against a variety of microorganisms. Leafcutter ants also have generalized defenses based on hygiene. Some leafcutter ants, including *Atta cephalotes*, dump the waste compost from their fungus gardens plus dead ants and other garbage produced in the nest into underground garbage chambers connected to the garden chambers by underground tunnels. All the worker ants have to do is to take waste from one chamber to another. But there is a problem. If ants take waste directly into the garbage chambers they risk transferring pathogens and *Escovopsis* back into the nest on their return journeys. This is prevented by clever organization of both the work and the workforce (HART and RATNIEKS 2001). The task of transferring the waste is actually divided into two sub-tasks. Workers from the fungus garden take the waste half way along the connecting tunnel and deposit it there. Workers living in the garbage chamber then take it the rest of the way. The workers living in the garbage chamber remain at this task, and are prevented from re-entering the main part of the nest. This division of a task into two sub-tasks and the division of the workforce into groups doing different tasks are two of the main principles by which work is organized in insect societies and are known as "task partitioning" and "division of labor". In *Atta cephalotes* they help to maintain the isolation of the garbage chambers from the garden chambers.

Species that have external garbage dumps, such as *Atta colombica*, also have analogous adaptations for hygiene (HART and RATNIEKS 2002). For example, the trail leading to the garbage dump goes downhill and in the opposite direction to the main foraging trail. In this way, there is less chance that waste will be contacted or re-enter the nest entrance. In addition, above ground ants have two different career plans. Approximately 10% transport garbage and 90% forage. But garbage transporters never become foragers, and *vice versa*.

The isolation of contaminated and uncontaminated parts of the nest has a striking similarity to how humans isolate hazardous waste. We have learned to dispose of our waste products in ways that prevent backwards contamination. Many hospitals, for example, have barrier washing machines to clean bed linen and clothing. The washing machine has two doors and is built into a wall between two adjoining rooms. One room is the dirty room and contains the loading door of the washing machine. The other room is clean and contains the unloading door. In this way there is no risk that clean laundry will be contaminated when unloaded.

What lessons can we take from the insects? To modern humans, the most familiar medical response to many disease-causing microorganisms, especially bacteria, is the antibiotic. And to farmers, the most familiar response to weeds and insects is the pesticide. The modern age of both antibiotics and pesticides began at the same time, during and immediately after World War 2. The discoverers of both, penicillin and DDT, FLEMING and MULLER, were soon awarded Nobel prizes, and their inventions ushered in a short-lived period of great optimism. Many thought that bacterial infections and insect pests would rapidly be defeated. The Surgeon General of the USA famously commented that the book on infectious diseases would soon be closed. This optimism was soon seen to be excessive. Pests and disease-causing microorganisms rapidly developed resistance, and unwelcome side effects of pesticides became apparent. Today, some strains of disease-causing bacteria that have resistance to multiple antibiotics can only be controlled with great difficulty. In the UK, many hospital patients become infected in

hospital, and the annual mortality caused by infections acquired in hospital is similar to that caused by road traffic accidents. The lesson to be learned from insect societies is simple. Do not rely on a single mechanism. Combine mechanisms, and do not forget the importance of good hygiene.

3.2 Conflicts within Societies: Preventing Individual Selfishness from Harming Society

A solitary animal benefits solely from its own activities. But organisms living in social groups also benefit from their membership in the social group. In general, we humans are happy to receive benefits from society but are less keen to contribute through taxes. In short, for humans and animals that live in social groups, there is conflict between individual and group interests. Each individual benefits by contributing less and receiving more. However, when this occurs the group will suffer and so will the individuals in the group. This situation, in which group resources are over-exploited by individuals for their selfish benefit, is called the “tragedy of the commons” (HARDIN 1968). In modern European countries such as Germany and Britain approximately 40% of the economy is administered by the state. Some of this money goes to provide things, such as national defense, that are delivered at the group level and benefit all citizens more or less equally. But many resources go to the delivery of benefits to individuals *via* health care, education, pensions, unemployment benefits and so on.

At the most basic level conflict between the individual and the group (and also conflicts among individuals) occurs because resources are limited and the interests of individuals are different. The person who is sick or unemployed wants the state to direct resources to them. It would not satisfy a person ill with a serious disease to be told by an official that “We don’t have the money to provide health care to you because we have already spent the money helping another sick person. But I am sure that you will be glad to hear that the other person has recovered, even if you will die. At least we could save one life.”

Conflict between individual and society also occurs in insect societies. Although a cursory look at an insect colony seems to reveal only activities that benefit the society as a whole, such as foraging, defending and caring for brood, detailed studies of insect societies have revealed the existence of actual conflict among individuals over brood rearing and colony reproduction (RATNIEKS et al. 2006). In addition, inclusive fitness theory, an evolutionary theory that can be used to understand the evolution of altruistic social behavior (HAMILTON 1964, LEHMAN and KELLER 2006), shows that there is great potential for conflict in insect societies (RATNIEKS et al. 2006). This conflict arises because insect societies are not made up of clones of genetically identical individuals, similar to the cells in a human body. Even though only egg and sperm cells pass on their genes to offspring, there is no conflict between the cells in your soma *versus* your gonads because the cells in these different organs are genetically identical.

In insect societies, conflict revolves around brood rearing and reproduction and can manifest itself in many ways (RATNIEKS et al. 2006). For example, there is conflict between the mother queen and her daughter workers over the sex ratio of the young queens and males reared in their colony. Due to differences in genetic relatedness, the workers will generally benefit from rearing more queens than males whereas the mother queen benefits from an even ratio. In this particular conflict, the workers do not reproduce directly. Rather, they benefit from manipulating the rearing of the queen’s offspring to cause a sex ratio that is different

from the optimum sex ratio of the mother queen. Research has shown that this conflict is very common. Most species of ants rear broods of males and young queens in which the total investment is biased towards young queens, indicating that the workers have at least partial control over the sex-allocation ratio (TRIVERS and HARE 1976). However, in some species the ratio is even suggesting that the queen is in control. Both the queen and the workers may employ different tactics to manipulate the sex ratio. Workers can manipulate the sex ratio by preferentially rearing female larvae into queens rather than into workers and by killing male larvae. But the queen is not entirely powerless and may force the workers to rear males by laying few female eggs. (Queen ants, bees and wasps can control the sex of the eggs they lay by choosing whether or not to release sperm from their sperm-storage organ when the egg is laid. Unfertilized eggs turn into males and fertilized eggs into females.) In some colonies of fire ants, *Solenopsis invicta*, the mother queen lays mainly male eggs. This forces the workers to rear more males than they would have done if the queen had also laid many female eggs (PASSERA et al. 2001). The workers are forced to rear most of the few female eggs that are laid into more workers to keep the colony alive, and they rear the male eggs into adult males because this is better than nothing.

There are also important conflicts in insect societies over direct reproduction (RATNIEKS et al. 2006). That is, conflict over whether an individual female reproduces or not. As mentioned before, reproductive inequality is at the heart of insect sociality, with queen and worker individuals. In ants, bees, and wasps, the workers are female. But in almost all species there is no genetic difference between a queen and a worker. Every female can, in principle, develop into either a queen or a worker by choosing one of two alternative developmental pathways. In most species, whether a female develops into a queen or a worker is determined by how she is reared as a larva. Queens are generally larger than workers, and a larva can only develop into a queen if she is given sufficient additional food. Larvae are passive and can only eat food that is provided by the adult workers. As a result, the adult workers can manipulate the development of the female larvae into queens or workers by controlling their food supply. In terms of group *versus* individual interests, the fact that it is the adult workers who control the food given to the larvae means that the colony will not rear excess queens. It will rear only as many as is good for the colony as a whole, as represented by the interests of the adult workers.

Not rearing excess queens benefits the society as a whole because queens do not work. But is it good for the larvae that are coerced into developing as workers? Inclusive fitness theory shows that if the female larvae could choose their own caste fate a large proportion of them would develop into excess queens (BOURKE and RATNIEKS 1999, RATNIEKS 2001). That is, queens who were not needed to help the colony to reproduce. If given a free choice, the actual proportion of larvae that should develop into excess queens depends on kinship. The higher the level of relatedness in the colony, the fewer larvae that should develop into excess queens. In general, the proportion is somewhere between 10% and 50%. In the honeybee relatedness is low because the queen is mated to approximately 10 males so that the queen’s female offspring are mostly half sisters (relatedness = 0.25) rather than full-sisters (relatedness = 0.75) giving an average relatedness of 0.3. The theory shows that at this low level of relatedness approximately 50% of the female larvae should develop into excess queens if allowed to. However, honeybee colonies do not rear excess queens. The actual proportion of female larvae that develop into queens is very low, approximately 0.01%. These are not excess queens but queens needed to allow the colony to reproduce. Honeybee colonies are founded by

swarms, each comprising thousands of workers and a single queen. During swarming, one colony divides into two or sometimes three or four colonies. So only a few young queens are needed in species that found new colonies by swarms. Rearing many queens would not allow more new colonies to be founded because there would be insufficient workers to accompany each queen.

Swarming honeybee colonies, therefore, do not rear excess queens meaning that the conflict between individual female larvae and the colony as a whole over the caste fate, worker or queen, of female larvae has been resolved in favor of the society. The reason why the conflict has been resolved in favor of the “state” rather than the individual is because adult workers can coerce female larvae to develop into workers. This is because queens are much larger than workers and are reared in special large cells. Larvae in these special large cells, which are known as queen cells or royal cells, are given an abundant supply of special food known as royal jelly. The vast majority of the female larvae are reared in much smaller worker cells. These larvae are not given sufficient food to develop into a queen. As a result they have no choice but to develop into a worker.

In a honeybee colony, the rearing of queens and workers is so well regulated that it seems inconceivable that there is any underlying conflict at all over the caste fate of female larvae. How can we be sure that there is potential for conflict? To do this we need to look at a different type of social bee, *Melipona*, which lives in tropical America. *Melipona* is the exception that proves the rule. As in the honeybee, *Melipona* bees found new colonies with a swarm comprising many workers and a single queen. Therefore, just as in the honeybee, the colony need only rear a few queens to be able to reproduce successfully. However, brood rearing in *Melipona* is very different to the honeybee. In honeybees, each larva is reared in an open cell and given food as needed. In addition, queens are larger than workers and are reared in special royal cells. But in *Melipona* each larva is reared in a sealed cell on a provision mass that is put into the cell by the workers just before the queen lays an egg, after which the cell is sealed so that the larva can develop in isolation. In addition, queens are not larger than workers and queens and workers (and males) are reared in the same cells. This combination of queens and workers of the same size and the rearing of larvae in sealed cells means that female larvae can determine their own caste fate, queen or worker. The adult workers cannot coerce a female larva by the amount of food they give it or by checking on the larva as it develops.

The end result is that *Melipona* colonies rear many excess queens. On average, about 10–20% of the females develop into queens compared to about 0.01% in the honeybee. Almost all *Melipona* queens are executed by the workers soon after emerging from their cells (WENSELEERS et al. 2004a). This rearing of excess queens has no benefit to the colony. It occurs because the selfish interests of individual larvae cannot be prevented by coercion from the adult workers, who represent the interests of the colony as a whole (WENSELEERS and RATNIEKS 2004). What is the benefit to the larvae that develop into queens if newly reared queens are killed? Occasionally, a newly reared queen is needed to head a new colony or to replace an existing queen who is getting old. The advantage from this is so great that many more female larvae are willing to enter into this lottery by developing into a queen than can win the lottery by succeeding in becoming a queen who heads a colony (RATNIEKS and WENSELEERS 2005).

Another important conflict over direct reproduction centers on the production of males (RATNIEKS et al. 2006). In most species of bees, wasps and ants, the workers are not completely

sterile. Although they cannot mate, they have functional ovaries and can lay unfertilized eggs. Because male bees, wasps and ants arise from unfertilized eggs this means that a worker who cannot mate can, in principle, contribute to the production of the colony’s males. Individual workers have a strong incentive to lay eggs because each worker is more related to her own sons (0.5) than to the sons of the mother queen (0.25). However, in many species very few of the males reared in the colony are workers’ sons (WENSELEERS and RATNIEKS 2006a). For example, in honeybee colonies, 99.9% of the adult males reared in a colony are sons of the queen (VISSCHER 1989). Even though the workers vastly outnumber the queen, only 0.1% of the adult males are worker’s sons.

The reason why so few of the males reared in a honeybee colony are workers’ sons is because workers prevent each from reproducing (RATNIEKS 1988). The basic mechanism is quite simple: workers preferentially kill worker-laid eggs but spare queen-laid eggs. This is known as “worker policing”. Since being discovered in the honeybee (RATNIEKS and VISSCHER 1989), examples of worker policing by egg eating have also been found in wasps and ants (RATNIEKS et al. 2006, WENSELEERS et al. 2004b, WENSELEERS and RATNIEKS 2006a). Because wasps and ants evolved eusociality independently from bees, this means that worker policing has evolved multiple times (FOSTER and RATNIEKS 2001).

Worker policing in the honeybee is highly effective, killing approximately 98% of the eggs laid by the workers. In this respect, worker policing serves to solve “crime” by detecting and killing worker-laid eggs. But worker policing also has an important effect in deterring crime, that is egg laying by workers. In a honeybee colony only 0.01–0.1% of the workers even try to lay eggs in the first place, by activating their ovaries (RATNIEKS 1993). (The vast majority of the workers have inactive ovaries. That worker honeybees have ovaries that can function normally is shown in colonies that have lost their mother queen and have failed to rear a replacement queen. These “hopelessly queenless” colonies are doomed, but before dying out through the dwindling of their workforce they rear a last batch of males from eggs laid by the workers. Approximately 25–50% of the workers activate their ovaries and lay eggs (MILLER and RATNIEKS 2001). In different species of social insects egg policing varies in its effectiveness in killing worker-laid eggs. Comparing different species shows that species with more effective policing have a smaller proportion of workers with active ovaries (RATNIEKS et al. 2006, WENSELEERS and RATNIEKS 2006b). This provides strong evidence that effective policing can deter egg laying by workers by reducing the benefit. In other words, if eggs laid by workers will be killed why lay them in the first place? Preventing workers from laying eggs is important because egg-laying workers normally do not work. Egg policing prevents workers from acting selfishly by laying eggs. Instead, they work to help the colony as a whole.

The above examples show that conflicts between acting selfishly (female larvae developing into excess queens; workers who lay eggs instead of working) versus helping society (female larvae who develop into workers; workers who work instead of laying eggs) can be resolved in favor of helping society by means of coercion. The overall effect can be very significant. For example, in a honeybee colony every female larvae can in principle develop into a queen and every worker has ovaries that can produce eggs. However, none of the female larvae develop into excess queens, and 99.9–99.99% of the workers work instead of laying eggs (RATNIEKS et al. 2006). From a human perspective it may seem that the vast majority of the individuals in an insect society are forced into a kind of slavery. However, being a worker who does not lay eggs is not a personal disaster. In human terms it would be like having a good job, even if this is not the best paying job in your place of work. This is because work-

ers are rearing their brothers and sisters. They do get something out of being a worker, even if they do not reproduce themselves (HAMILTON 1964, DAWKINS 1976).

Can humans learn anything from conflict resolution in insect societies? One insight is that policing can deter crime. Given the vast amounts of money spent on human police forces and the difficulty of carrying out studies on the effectiveness of human policing, this should be of interest. Of more general importance is the role of policing and coercion as a uniting force. Coercion in insect societies unites the queen's offspring to a common cause, which is to work to help the colony as a whole. Even though policing in insect societies serves to promote inequality, the workers benefit as each has a share in the colony's success because the colony is a family. In human society, each individual can benefit from things that benefit the state as a whole, but there must also be some direct advantage to each individual. In insect societies, policing works by reinforcing inequality in order to make society function better. But in human society, policing will probably help society as a whole to function better if it reinforces equality, fairness and the rule of law (BREMNER 2006).

One major difference between conflict resolution in insect and human societies is that in an insect society it is not normally possible for an individual to promote its selfish interests and those of the colony as a whole at the same time. For example, a larva that develops into a queen cannot work. But in human society it is possible to benefit both yourself and society. If a person makes a useful invention, such as new drug to combat disease, that individual can profit from selling this to others. Society also benefits, because the health of many people is improved. A similar situation occurs when a person learns a useful trade or profession. By doing so he or she can both, make a living and contribute to society. Unlike the situation in insect societies, human society is not a zero sum game. The good of one individual does not necessarily have to be to the disadvantage of others. But perhaps the biggest difference between insect societies and humans in resolving conflicts is that humans can understand problems and engineer solutions. The problem of conflict in human society does not have a technical solution, but perhaps we can find ways to align our individual interests more closely. In addition, in the modern world we are increasingly facing global challenges, such as climate change and energy shortage. The "colony" for the modern human is more and more the entire human race and the whole of our home planet.

3.3 System Organization

A human organization like a hospital or a car factory employs many people, each with their own role and expertise and each contributing to the collective goal of providing health care or manufacturing vehicles. A human technological system like a telecommunication or electricity distribution network also has many component parts and a collective goal. To function effectively in achieving their goals, human organizations and technologies both require that system components function together in a coordinated manner. This is not easy to achieve. The system has to be able to respond to sudden changes in demand. In addition, the system must be robust against failure. It is no good if the hospital grinds to a halt if one employee fails to show up for work one day, or if an electricity grid ceases functioning if one generating plant or transmission line fails.

Large human organizations and technologies are commonplace nowadays, but just a few thousand years ago they did not exist. But large complex organizations in the form of insect

societies have existed for tens of millions of years. Contemporary insect societies are the end result of millions of years of social evolution. During this period, natural selection will have favored societies that function more efficiently because those societies will have had greater survival and reproduction. In other words, genes which cause nestmate workers to work together more effectively to cause their colonies to function better will have been favored by natural selection. An insect society is one of the few situations in which natural selection causes group-level adaptations among individual animals (SEELEY 1997). In most cases, groups of animals are aggregations of individuals competing with each other or obtaining some individual benefit from being part of a group.

Insect societies and human organizations and technologies face many similar organizational challenges. Ant colonies form networks of foraging trails, which are both transportation and communication networks, leading from the nest entrance into the surrounding environment (HÖLLDOBLER and WILSON 1990). Honeybee colonies locate many potential foraging sites. Additional foragers are recruited to the more rewarding locations by means of waggle dances made by foragers working high quality locations (SEELEY 1995).

To forage efficiently a colony must direct foragers to where the food is (RATNIEKS 2005). Although this problem is easy to state in words it is not simple to solve mathematically. This is because food locations change constantly and vary in quality. In fact, it is a biological example of a dynamic optimization problem. This is a type of problem increasingly of interest to engineers and computer scientists. It is the problem, for example, in organizing cell-phone networks, given that the locations of the handsets and their activity are constantly changing. Because natural selection has been helping insect colonies to solve such problems for millions of years, their solutions are of potential interest to human engineers and computer scientists. Learning from nature is common in engineering. Well-known examples include the Velcro fastener, which was inspired by the hooks that many plant seeds use to attach to animals for dispersal, and the pattern of supporting struts in the Crystal Palace, which was copied from the leaf veins of the giant water lily by the renowned Victorian architect and gardener Joseph PAXTON. But engineering insight from nature need not be confined to copying physical structures. Why not also copy organizational principles?

Insect societies coordinate their workers and solve problems *via* self-organization (BONABEAU et al. 1997, CAMAZINE et al. 2001, SUMPTER 2006). There is no leader or foreman. Although the queen in an insect society is the main egg-laying individual, she does not direct the activities of the workers. A global solution, such as an efficient foraging trail network, emerges from the local actions of many agents (workers) each of which is individually ignorant of the overall network and is simply responding to local conditions. For example, the following three simple rules will allow an ant colony to establish trails to locations in the environment where food can be collected if implemented by individual forager workers: (i) if encounter food then lay trail pheromone on returning to nest; (ii) if encounter pheromone trail then follow to food; (iii) if not encounter food then do not lay trail pheromone on returning to nest. These rules result in positive feedback to rewarding feeding locations and negative feedback to non-rewarding or depleted locations. The balance between positive and negative feedback is important. If positive feedback is too strong it may result in too many ants being recruited to a food source, or for recruitment to persist long after the food has been consumed. Negative feedback is provided by unsuccessful foragers not laying more pheromone combined with the evaporation of existing pheromone. A trail leading to food must be actively maintained by the laying of more pheromone by successful foragers.

Based on these simple rules, a colony of ants can send foragers to more rewarding feeding locations and can also choose the shorter of two routes to a feeding location (BECKERS et al. 1992). Several problem solving methodologies in computer science are based on adaptive global solutions arising from individuals agents. Some of these, including Swarm Intelligence (BONABEAU et al. 1999) and Ant Colony Optimization (DORIGO and STÜTZLE 2004) are deliberately based on inspiration from insect societies. In ACO, multiple-agent simulations incorporate an evaporating pheromone trail with successful agents laying more pheromone. In this way a wide range of potential solutions are explored, better solutions are reinforced with pheromone, and the system converges on a good solution. Near optimum solutions to problems that cannot be solved analytically, such as the Traveling Salesman Problem, can be obtained, and ACO also performs well in simulations of real-world tasks, such as in the routing of telephone messages through a network of communication links and nodes.

Although ACO is inspired by ants it does not faithfully follow ant biology. This is because a computer algorithm need not be constrained in the same way as real ants. For example, in ACO “pheromone” is applied retroactively when an “ant” (agent) has “returned to the nest” after making a successful trip. Real ants, of course, can only lay pheromone as they walk. It makes sense for computer scientists using ACO methods to allow pheromone to be updated retroactively. After all, why should a human technology that is inspired by biology not be able to make improvements, especially when computer modeling is involved? A more important weakness of current ACO is that it takes only limited inspiration from ants. In particular, the main inspiration is a single evaporating attractive trail pheromone. Recent research has shown that ant colonies use a much more complex system of signals and information sources in organizing their foraging trail networks.

To give a concrete example of the remarkable sophistication with which insect societies solve problems I will describe the results of some recent research in my laboratory that has studied the behavior of foraging Pharaoh’s ants, *Monomorium pharaonis*. Rather than the use of a single attractive pheromone, this research has shown three distinct pheromone effects, two attractive and one repellent. One of the attractive effects decays rapidly, in approximately 20 minutes (JEANSON et al. 2003). This allows rapid recruitment to newly discovered food sources and the abandonment of depleted food sources. This effect is similar to the traditional view of an ant trail pheromone. However, there is also an attractive effect that decays slowly, in approximately two days, which allows the colony to re-establish previously used trails (JACKSON et al. 2006), and a volatile repellent pheromone that is applied at trail bifurcations and which acts as a no-entry signal to unrewarding branches (ROBINSON et al. 2005).

Why have so many trail pheromones? One strong possibility is that the different signals are complementary. The attractive effect that decays slowly, for example, is a type of colony-level memory. When foraging has a daily rhythm or when food sources replenish themselves on a daily basis, such as when flowers or aphids secrete nectar or honeydew at certain times of the day, then being able to revisit locations that were rewarding yesterday has an obvious advantage. To do this requires a pheromone that persists for at least one day. The repellent “no entry” signal is concentrated immediately after trail bifurcations on the non-rewarding branch. Because it is volatile, foraging ants can detect it before reaching the bifurcation just like a human road sign (ROBINSON et al. 2005). The attractive effect that decays rapidly acts to mark out the entire trail and also helps ants to choose the more rewarding branch at a trail bifurcation. On their own, both the short-lived attractive and repellent pheromones can help ants choose the more rewarding branch, but many ants make mistakes as only about 70 % of out-

ward walking foragers chose the more rewarding branch. Another reason for having two volatile pheromones, therefore, may be to direct a greater proportion of the foragers to the more rewarding branch than can be achieved with just a single pheromone.

The pheromone trail networks of Pharaoh’s ants have two other remarkable features that we have recently discovered. The first is the use of trail geometry in determining trail polarity. That is, which direction leads to the nest (JACKSON et al. 2004). In this way, foraging ants can determine if they are walking the right way and can turn around if they are not. Trail geometry provides polarity information in the following way. Trails leading from the nest bifurcate repeatedly in a Y pattern so that the trail system resembles the root system of a plant, but in two dimensions. The angle between the outward branches of the Y averages approximately 60 degrees. This means that the bifurcation is asymmetrical. It is this asymmetry that provides information about trail polarity. (The bifurcation would be symmetrical if the angle between the branches were 120 degrees.) Experiments show that ants walking through a symmetrical trail bifurcation are unable to correct their course if they are walking the wrong way. But ants walking through bifurcations with less than 120 degrees between the branches can do so. The effect is a strong one. At a bifurcation angle of 60 degrees 6 times as many correct U-turns are made as incorrect U-turns. Doing this research requires that we know which way an ant “wants” to walk so that we can determine whether any U-turns made are correct or not. We do this by using foragers that have been fed on syrup or not. Fed foragers should return to the nest whereas unfed foragers should walk away from the nest.

The second new feature is individual specialization. The non-volatile attractive trail pheromone, for example, can be detected only by the approximately 20% of the foragers who walk with their antennae in contact with the ground (JACKSON et al. 2006). In addition, approximately 40% of foragers specialize in laying trail pheromones. Instead of walking directly from food to nest or *vice versa*, these ants make repeated U-turns to deposit additional pheromone on the trail using their extended sting (HART and JACKSON 2006).

Pharaoh’s ants are nothing special to look at. The workers are only 2 mm long. Yet this tiny ant is proving that small is remarkable as well as beautiful. Multiple signals and individual specialization also occur in the foraging organization of other species. The ponerine army ant *Leptogenys distinguenda* utilizes multiple trail pheromones (WITTE and MASCHWITZ 2002). The honeybee uses four different dances (ANDERSON and RATNIEKS 1999) and a recently-discovered pheromone (LEONCINI et al. 2004) to coordinate its foraging system. In addition to directing recruits to flower patches the waggle dance also recruits workers to foraging (SEELEY 1995). Collectively, these signals direct workers to food and also serve to up and down regulate the total numbers of foragers and nectar receivers and to maintain a balance between the numbers of foragers and receivers. The foraging system of honeybee colonies is probably the best understood example of collective problem solving. Research is also investigating how honeybee swarms select nest sites (SEELEY and VISSCHER 2004). This process uses many of the same mechanisms as foraging, including the use of scout bees and recruitment by means of the waggle dance. But in nest site selection the decision that has to be made is radically different to that of foraging. Whereas foraging can take place to many locations at once, nest site selection requires that a single location be chosen.

Can humans learn anything from the way that insect societies organize themselves? More so than the examples of public health and conflict resolution that I discussed previously, system organization is one area where researchers are already implementing ideas inspired by insect societies such as the use of multiple-agent simulations and the specific concept of an

evaporating pheromone. But ant societies and individuals appear to have considerably greater sophistication than computer scientists give them credit for. Future research will almost certainly uncover additional examples of the sophistication with which insect societies solve collective problems. It is quite likely, therefore, that further inspiration will come from implementing additional mechanisms of problem solving used by insect societies and about which we currently have only a very limited understanding. One obvious need is to understand why insect societies use multiple pheromone signals and individual specialization in organizing their foraging systems and networks. What organizational benefits do these give?

4. Conclusion

Above, I have presented three areas in which we may be able to learn from insect societies. The success of insect societies in maintaining good public health, resolving social conflicts, and organizing themselves suggests that it is worth studying insect societies more carefully to understand how they achieve this. At the very least we will learn important new things about the biology of social insects and social behavior. At the best, we might be able to discover how to make antibiotics work for millions of years or to prevent our technological systems from crashing, or how to reduce conflicts.

I will finish by noting one important difference between human and insect societies. We humans like to contemplate our own society and to think of ways to improve it. In doing this, we may perhaps learn something from social insects. In contrast, social insects will never learn anything from humans. Millions of years from now, their societies will probably be very much the same as they are today. But what will our society be like? Will we have resolved these important problems?

References

- ANDERSON, C., and RATNIEKS, F. L. W.: Worker allocation in insect societies: coordination of nectar foragers and nectar receivers in the honey bee. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **46**, 73–81 (1999)
- BAILEY, L.: The action of the proventriculus in the worker honeybee. *J. Exp. Biol.* **29**, 310–327 (1952)
- BECKERS, R., DENEUBOURG, J.-L., and GOSS, S.: Trails and U-turns in the selection of a path by the ant *Lasius niger*. *J. Theor. Biol.* **159**, 397–415 (1992)
- BONABEAU, E., DORIGO, M., and THERAULAZ, G.: *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*. Oxford, UK: Oxford University Press 1999
- BONABEAU, E., THERAULAZ, G., DENEUBOURG, J.-L., ARON, S., and CAMAZINE, S.: Self-organization in social insects. *Trends Ecol. Evolut.* **12**, 188–193 (1997)
- BOURKE, A. F. G., and RATNIEKS, F. L. W.: Kin conflict over caste determination in social Hymenoptera. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **46**, 287–297 (1999)
- BREMNER, J.: *The J Curve: A New Way to Understand Why Nations Rise and Fall*. New York, NY: Simon & Shuster 2006
- BURGETT, D. M.: Antibiotic systems in honey, nectar, and pollen. In: MORSE, R. A., and NOWOGRODZKI, R. (Eds.): *Honey Bee Pests, Predators, and Diseases*. 2nd ed., pp. 229–340. Ithaca, NY: Cornell University Press 1990
- CAMAZINE, S., DENEUBOURG, J.-L., FRANKS, N. R., SNEYD, J., THERAULAZ, G., and BONABEAU, E.: *Self-organization in biological systems*. Princeton, NJ: Princeton University Press 2001
- CRANE, E.: *Bees and Beekeeping: Science, Practice and World Resources*. Ithaca, NY: Cornell University Press 1990
- CRANE, E.: *The World History of Beekeeping and Honey Hunting*. London, UK: Duckworth 1999
- CURRIE, C. R., MUELLER, U. G., and MALLOCH, D.: The agricultural pathology of ant fungus gardens. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **96**, 7998–8002 (1999a)
- CURRIE, C. R., POULSEN, M., MENDENHALL, J., BOOMSMA, J. J., and BILLEN, J.: Coevolved crypts and exocrine glands support mutualistic bacteria in fungus-growing ants. *Science* **311**, 81–83 (2006)
- CURRIE, C. R., SCOTT, J. A., SUMMERBELL, R. C., and MALLOCH, D.: Fungus-growing ants use antibiotic-producing bacteria to control garden parasites. *Nature* **398**, 701–704 (1999b)
- CURRIE, C. R., and STUART, A. E.: Weeding and grooming of pathogens in agriculture by ants. *Proceedings of the Royal Society of London B* **268**, 1033–1039 (2001)
- DARWIN, C.: *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*. London: John Murray 1859
- DAWKINS, R.: *The Selfish Gene*. Oxford, UK: Oxford University Press 1976
- DORIGO, M., and STÜTZLE, T.: *Ant Colony Optimization*. Cambridge, MA: Bradford Books, MIT Press 2004
- ELLIS, H.: *Sweetness and Light: The Mysterious History of the Honey Bee*. London, UK: Sceptre 2004
- FOSTER, K. R., and RATNIEKS, F. L. W.: Convergent evolution of worker policing by egg eating in the honeybee and common wasp. *Proc. Roy. Soc. London B* **268**, 169–174 (2001)
- FRISCH, K. VON: *The Dance Language and Orientation of Bees*. Cambridge, MA: Harvard University Press 1967
- GRIMALDI, D. A., and ENGEL, M. S.: *The Evolution of Insects*. Cambridge, UK: Cambridge University Press 2005
- HAMILTON, W. D.: The genetical evolution of social behaviour. I. *J. Theoret. Biol.* **7**, 1–16 (1964)
- HART, A., and JACKSON, D. E.: U-turns of ant pheromone trails. *Curr. Biol.* **16**, R42–R43 (2006)
- HART, A. G., and RATNIEKS, F. L. W.: Task partitioning, division of labour and nest compartmentalisation collectively isolate hazardous waste in the leafcutting ant *Atta cephalotes*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **49**, 387–397 (2001)
- HART, A. G., and RATNIEKS, F. L. W.: Waste management in the leafcutting ant *Atta colombica*. *Behav. Ecol.* **13**, 224–231 (2002)
- HARDIN, G.: The tragedy of the commons. *Science* **162**, 1243–1244 (1968)
- HÖLLDOBLER, B., and WILSON, E. O.: *The Ants*. Cambridge, MA: Harvard University Press 1990
- JACKSON, D. E., HOLCOMBE, M., and RATNIEKS, F. L. W.: Geometry gives polarity to ant pheromone trails. *Nature* **432**, 907–909 (2004)
- JACKSON, D. E., MARTIN, S. J., HOLCOMBE, M., and RATNIEKS, F. L. W.: Longevity and detection of persistent foraging trails in Pharaoh's ants, *Monomorium pharaonis* (L.). *Anim. Behav.* **71**, 351–359 (2006)
- JEANSON, R., RATNIEKS, F. L. W., and DENEUBOURG, J.-L.: Pheromone trail decay rates on different substrates in the Pharaoh's ant, *Monomorium pharaonis* (L.). *Physiol. Entomol.* **28**, 192–198 (2003)
- LEHMAN, L., and KELLER, L.: The evolution of cooperation and altruism. A general framework and a classification of models. *J. Evolut. Biol.* (2006, in press)
- LEONCINI, I., LE CONTE, Y., COSTALLIOLA, G., PLEITTNER, E., TOTH, A. L., WANG, M., HUANG, Z., BECARD, J. M., CRAUSER, D., SLESSOR, K. N., and ROBINSON, G. E.: Regulation of behavioral maturation by a primer pheromone produced by adult worker honey bees. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **101**, 17599–17564 (2004)
- MILLER, D. G., and RATNIEKS, F. L. W.: The timing of worker reproduction and breakdown of policing behaviour in queenless honey bee (*Apis mellifera* L.) societies. *Insectes Sociaux* **48**, 178–184 (2001)
- MOLAN, P.: Why honey is effective as a medicine: its use in modern medicine. In: MUNN, P., and JONES, R. (Eds.): *Honey and Healing*; pp. 5–13. Cardiff, UK: International Bee Research Association 2001a
- MOLAN, P.: Why honey is effective as a medicine: its use in modern medicine. In: MUNN, P., and JONES, R. (Eds.): *Honey and Healing*; pp. 14–26. Cardiff, UK: International Bee Research Association 2001b
- National Academy of Sciences: Status of Pollinators in North America*. Washington, DC: National Academic Press 2006
- PASSERA, L., ARON, S., VARGO, E. L., and KELLER, L.: Queen control of sex ratio in fire ants. *Science* **293**, 1308–1310 (2001)
- RATNIEKS, F. L. W.: Reproductive harmony via mutual policing by workers in eusocial Hymenoptera. *Amer. Naturalist* **132**, 217–236 (1988)
- RATNIEKS, F. L. W.: American foulbrood: A review of an important honey bee disease. *Bee World* **73**, 177–191 (1992)
- RATNIEKS, F. L. W.: Egg-laying, egg-removal, and ovary development by workers in queenright honey bee colonies. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **32**, 191–198 (1993)
- RATNIEKS, F. L. W.: Heirs and spares: caste conflict and excess queen production in *Melipona* bees. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **50**, 467–473 (2001)
- RATNIEKS, F. L. W.: Outsmarted by ants. *Nature* **436**, 465 (2005)
- RATNIEKS, F. L. W., and VISSCHER, P. K.: Worker policing in the honey bee. *Nature* **342**, 796–797 (1989)
- RATNIEKS, F. L. W., and WENSELEERS, T.: Policing insect societies. *Science* **307**, 54–56 (2005)
- RATNIEKS, F. L. W., WENSELEERS, T., and FOSTER, K. R.: Conflict resolution in insect societies. *Annu. Rev. Entomol.* **51**, 581–608 (2006)
- ROBINSON, E. J. H., JACKSON, D. E., HOLCOMBE, M., and RATNIEKS, F. L. W.: “No entry” signal in ant foraging. *Nature* **438**, 442 (2005)
- ROBINSON, W. S., NOWOGRODZKI, R., and MORSE, R. A.: The value of honey bees as pollinators of U.S. crops. Part 1. *Amer. Bee J.* **129**(2), 411–423 (1989)

- SEELEY, T. D.: Honeybee Ecology. Princeton, NJ: Princeton University Press 1985
- SEELEY, T. D.: The Wisdom of the Hive. Cambridge, MA: Harvard University Press 1995
- SEELEY, T. D.: Honey bee colonies are group-level adaptive units. *Amer. Naturalist* 150, S22–S41 (1997)
- SEELEY, T. D., and VISSCHER, P. K.: Group decision making in nest-site selection by honey bees. *Apidologie* 35, 1–16 (2004)
- SUMPTER, D. J. T.: The principles of collective animal behaviour. *Phil. Trans. Roy. Soc. London B* 361, 5–22 (2006)
- TRIVERS, R. L., and HARE, H.: Haplodiploidy and the evolution of the social insects. *Science* 191, 249–263 (1976)
- VISSCHER, P. K.: The honey bee way of death: necrophoric behaviour in *Apis mellifera* colonies. *Anim. Behav.* 31, 1070–1076 (1983)
- VISSCHER, P. K. A quantitative study of worker reproduction in honey bee societies. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 25, 247–254 (1989)
- WENSELEERS, T., HART, A. G., and RATNIEKS F. L. W.: Queen execution and caste conflict in the stingless bee *Melipona beecheii*. *Ethology* 110, 725–736 (2004a)
- WENSELEERS, T., HELANTERÄ, H., HART, A., and RATNIEKS, F. L. W.: Worker reproduction and policing in insect societies: an ESS analysis. *J. Evolut. Biol.* 17, 1035–1047 (2004b)
- WENSELEERS, T., and RATNIEKS, F. L. W.: Tragedy of the commons in *Melipona* bees. *Proc. Roy. Soc. London B* 271, S310–312 (2004)
- WENSELEERS, T., and RATNIEKS, F. L. W.: Comparative analysis of worker policing and reproduction in eusocial Hymenoptera supports relatedness theory. *Amer. Naturalist* 168, E164–E179 (2006a)
- WENSELEERS, T., and RATNIEKS, F. L. W.: Enforced altruism in insect societies. *Natur* 444, 50 (2006b)
- WITTE, V., and MASCHWITZ, U.: Coordination of raiding and emigration in the ponerine army ant *Leptogenys distinguenda*: a signal analysis. *J. Insect Behav.* 15, 195–217 (2002)

Prof. Dr. Francis L. W. RATNIEKS
Laboratory of Apiculture & Social Insects
Department of Animal & Plant Sciences
University of Sheffield
Sheffield, S10 2TN
UK
Phone: +44 114 2220070
Fax: +44 114 2220002
E-Mail: F.Ratnieks@Sheffield.ac.uk
www.lasi.group.shef.ac.uk

Evolution und Sterben der Dinosaurier

Wolfgang OSCHMANN (Frankfurt am Main)

Mit 22 Abbildungen



1. Einleitung

Verglichen mit der Dauer der Erd- und Lebensgeschichte von über 4 Milliarden Jahren, erfolgte die Besiedlung der Festländer vor etwa 430 Millionen Jahren, im Untersilur, durch Gefäßpflanzen und Gliederfüßer (Arthropoden) erst sehr spät. Es dauerte weitere 70 Millionen Jahre, bis die ersten Landwirbeltiere, die Amphibien, den Übergang an das Festland schafften (Abb. 1).

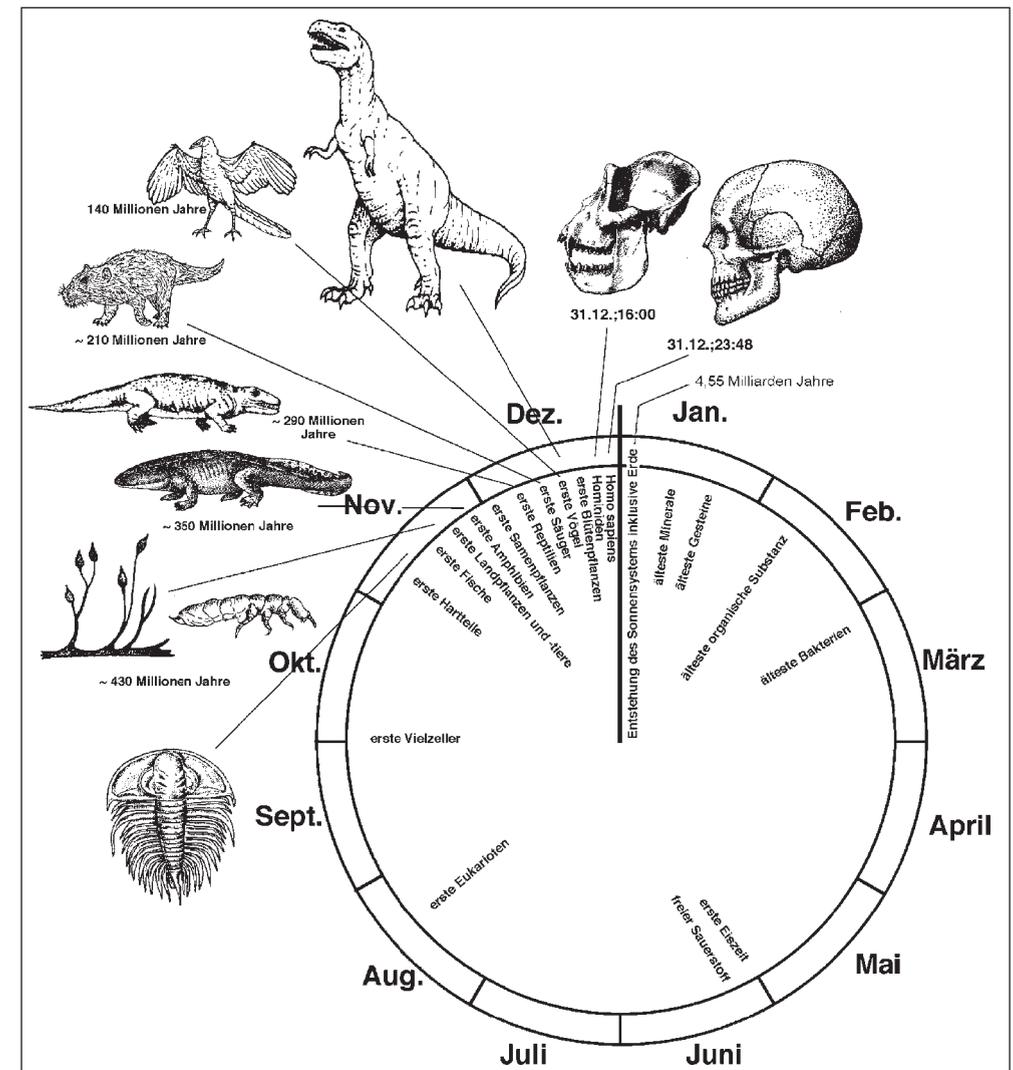


Abb. 1 Wenn man die Erdgeschichte auf ein Jahr projiziert, entspricht ein Monat etwa 380 Millionen Jahren und ein Tag 12,5 Millionen Jahre. Nach dieser Projektion traten die ersten Gefäßpflanzen und Gliederfüßer am 20. November am Festland auf. Die ersten Wirbeltiere erreichten das Festland am 27. November. Die ersten Reptilien entstanden am 8. Dezember. Am 12. Dezember erscheinen Säugetiere und Dinosaurier etwa gleichzeitig. Am 25. Dezember starben die Dinosaurier aus. Den *Homo sapiens* gibt es seit dem 31. Dezember um 23 Uhr 48.

Zusammenfassung

Dinosaurier waren für 160 Millionen Jahre die erfolgreichste Tiergruppe an Land, bevor sie vor 65 Millionen Jahren, wahrscheinlich durch eine globale Katastrophe, verschwanden. Sie entstanden in der Obertrias, etwa gleichzeitig mit den Säugetieren, und wurden rasch die dominante Tiergruppe am Festland. Während Jura und Kreide besiedelten sie alle Kontinente und waren bis in die Polarkreise verbreitet. Nahezu alle Dinosaurier waren spezialisierte, an ihre Umwelt bestens angepasste Formen. Sie bewegten sich auf vier oder zwei Beinen, benutzten den Schwanz als Balance und entwickelten zum Teil Greifhände. Durch Differenzierung der Kiefergelenke und Zähne erschlossen sie sich vielfältige pflanzliche und tierische Nahrungsquellen. Ihr Größenspektrum reichte von Katzengröße bis über 30 m Länge und einem Gewicht von bis zu hundert Tonnen. Viel kleinere Raubsaurier hatten eine sehr aktive Lebensweise, die auf Warmblütigkeit schließen läßt. Neben anderen Argumenten wird dies vor allem durch Funde befiederter Dinosaurier gestützt. Gemeinsam mit vielen anderen Tiergruppen verschwanden die Dinosaurier plötzlich am Ende der Kreide. Als Erklärung werden ein Meteoriteneinschlag in den Golf von Mexiko und extremer Vulkanismus in Indien herangezogen. Allerdings sind auch längerfristige ökologische und klimatische Veränderungen als zusätzliche Ursachen nicht auszuschließen.

Abstract

For a period of 160 million years dinosaurs were the most successful terrestrial animals on earth, before they became extinct 65 Million years ago. Dinosaurs appeared in the late Triassic at the same time as mammals and became rapidly the dominant terrestrial animals. During Jurassic and Cretaceous times they occurred on all continents including the polar areas. Dinosaurs had been highly specialized and well adapted to their environment. There had been quadruped and bipedal forms. The later used their long tails for balance, and some adopted grasping ability with their hands. Jaw hinge and teeth underwent modifications, which allowed them to make use of diverse plant and meet diet. The size of dinosaurs reached from less than 0.5 m to over 30 m in length, with a maximum weight of hundred tons. Many smaller predators had an active mode of life and presumably were warm blooded. Besides other arguments, the discovery of feathered dinosaurs supports this interpretation. Together with many other terrestrial and marine organisms the dinosaurs disappeared at the end of cretaceous. A giant impact, the crater had been discovered in 1991, and huge volcanic eruptions in India were the most discussed explanations. However, longer term ecological and climatic changes as additional causes cannot be excluded.

Die Amphibien waren aber noch abhängig vom Wasser und auf feuchte Standorte mit Tümpeln, Seen oder Flüssen angewiesen. Die Eier der Amphibien ähneln denen der Fische und haben keine feste Hülle. Sie müssen im Wasser abgelegt werden, um nicht auszutrocknen. Auch die mit Kiemen atmenden Larvalstadien entwickeln sich ausschließlich im Wasser. Die Adulttiere leben zwar an Land, ihre Außenhaut trocknet aber sehr leicht aus und bietet keinen Verdunstungsschutz.

Am Ende des Oberkarbons vor etwa 300 Millionen Jahren entwickeln sich die ersten Reptilien aus den Amphibien (Abb. 1). Neuerungen der Reptilien sind z. B. die Entstehung des weitgehend abgetrennten Gehirnschädels, die Weiterentwicklung des Innenohrs, ein stabileres Skelett, die Entwicklung einer Schuppenhaut als Verdunstungsschutz und die Bildung eines neuen Ei-Typs (Amnioten-Ei), der die Entwicklung unabhängig vom Wasser erlaubt. Im Verlauf des Perm entwickelten sich die drei Hauptgruppen der Reptilien (Anabsida, Synabsida und Diabsida), die durch ihren Schädelbau unterschieden werden (Abb. 2). Besonders erfolgreich waren die zu den Synabsida gehörenden Therabsida (säugetierähnliche Reptilien). Das große Massenaussterben am Ende des Perms vor 250 Millionen Jahren dezimierte auch die Reptilien, darunter besonders stark die Therabsiden.

In der Trias radierten die Reptilien neu. Die erfolgreichsten Gruppen waren wieder die Therabsiden und die, aus den Diabsiden hervorgegangenen, Archosauria. Aus den Therabsiden entwickelten sich die Säugetiere, aus den Archosauria die Dinosaurier. Beide treten in der oberen Trias vor etwa 225 Millionen Jahren erstmalig auf. Während die Dinosaurier sehr rasch zur dominanten Tiergruppe wurden, waren die Säugetiere lange Zeit nur von untergeordneter Bedeutung. Vor 65 Millionen Jahren sind die Dinosaurier ausgestorben. Sie waren für 160 Millionen Jahre, also fast das gesamte Mesozoikum hindurch, eine wichtige, zum Teil sogar die beherrschende Tiergruppe am Festland (Abb. 1 und 2).

2. Paläogeographie und Klima im Mesozoikum

Als die Dinosaurier in der Trias entstanden, existierte noch der Superkontinent Pangaea, in dem alle Kontinente vereinigt waren (Abb. 3). Wegen seiner Größe gab es nur in Küstenregionen ausreichend Niederschläge und Vegetation. Die inneren Bereiche waren großenteils Wüsten. Auch in Mittel- und Westeuropa war es trotz der vergleichsweise geringen Entfernung zum Ozean überwiegend trocken. Die flache Landschaft wurde gelegentlich vom Meer überspült. Die hohe Verdunstungsrate führte zur Bildung von Eindampfungsgesteinen (Gipse und Salze). Trotz der unwirtlichen Bedingungen lebten in Mitteleuropa viele Reptilien, darunter auch Dinosaurier. Sie bevorzugten Fluß- und Seenlandschaften mit zumindest sporadischer Wasserführung. An den dauerfeuchten Standorten gab es Farne und Bärlapp-Gewächse. Schachtelhalme und ursprüngliche Nadelbäume besiedelten die halbtrockenen Regionen.

Im Verlauf des Jura stieg der Meeresspiegel deutlich an und überflutete große Gebiete küstennaher Flachländer, so auch weite Teile von Mitteleuropa (Abb. 4). Zusätzlich setzte im Mitteljura das Zerschneiden von Pangaea ein. Bereits im Oberjura war der Atlantische Ozean als langgestrecktes Meeresbecken vorhanden. Auch Europa und Afrika trennten sich, und zwischen den Kontinenten der Nord- und Südhemisphäre war ein weltumspannender äquatorialer Ozean entwickelt. Der steigende Meeresspiegel und das Zerschneiden von Pangaea begünstigten nun ein feuchteres Klima und eine ausgedehnte Vegetation, bestehend aus Farnen und verschiedenen Gymnospermen (Nacktsamer) wie Cycadeen (Palmfarne), Ginkgos und Arau-

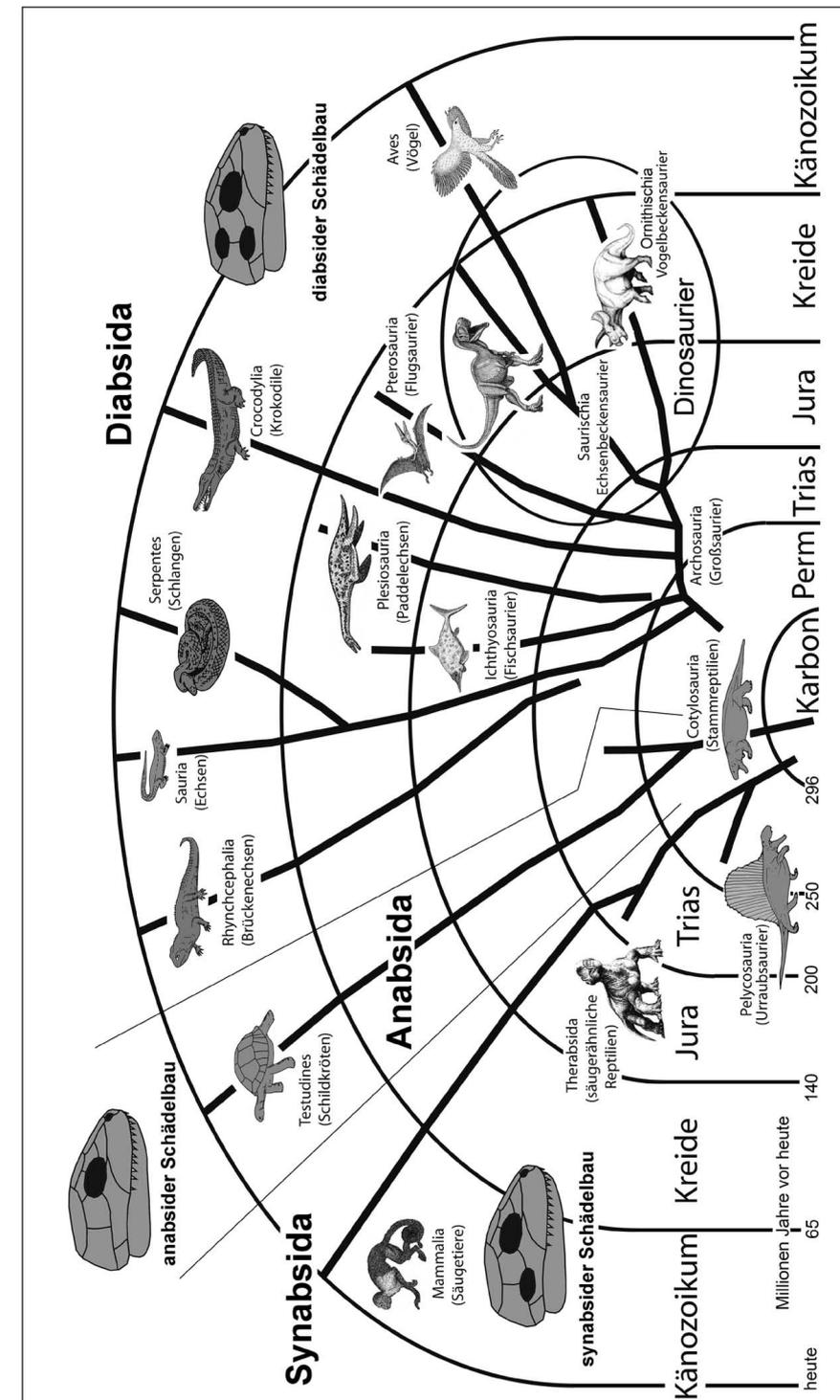


Abb. 2 Vereinfachter Stammbaum der Reptilien. Nach der Entstehung der Reptilien im Oberkarbon fanden im Perm und in der Trias wesentliche Radiationsschübe statt. Dabei entwickelten sich neben den im Mesozoikum dominanten Gruppen (Dinosaurier, Pterosaurier, Plesiosaurier und Ichthyosaurier) auch die Stammgruppen der heutigen Reptilien, Säugetiere und Vögel (kompiliert nach verschiedenen Quellen).

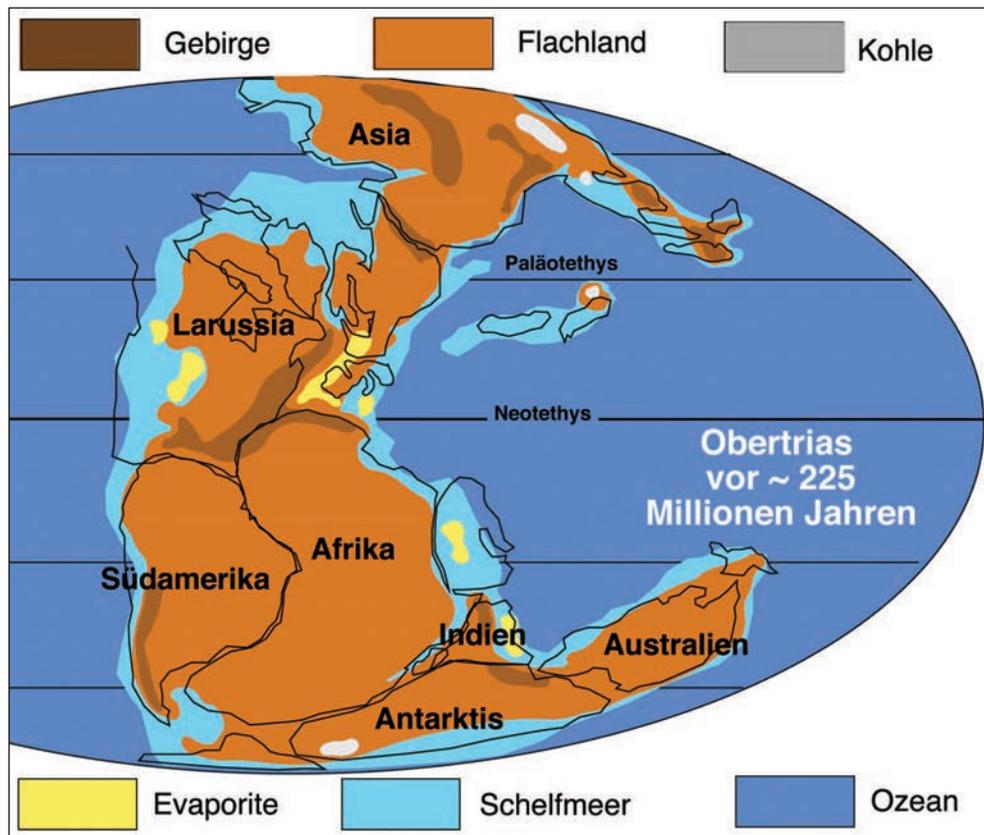


Abb. 3 Anordnung der Kontinente in der Obertrias zur Zeit der Entstehung der Dinosaurier. Mitteleuropa lag etwa 20° nördlicher Breite. In der Obertrias waren alle Kontinente in dem Superkontinent Pangaea vereinigt. Das Klima war kontinental geprägt. Der Tag/Nachtunterschied und die jahreszeitlichen Schwankungen der Temperatur waren sehr groß. Wegen der großen Trockenheit gab es an den Polen keine oder zumindest keine großen Eiskappen.

karien. Subtropische Floren reichten bis 60° nördlicher und südlicher Breite und belegen ein, verglichen mit heute, ausgeglichenes und warmes Klima. Im Mitteljura gibt es Hinweise auf begrenzte, lokale Vereisungen, die aber bei weitem nicht die heutige Verbreitung der Eiskappen an den Polen erreicht haben (FASTOVSKY und WEISHAMPEL 2005).

In der Kreide zerfiel auch der große Südkontinent. Indien wanderte als kleiner isolierter Kontinent nach Norden und kollidierte im Alttertiär mit Asien (Abb. 5). Durch die Neubildung von Ozeankruste waren die Ozeanbecken relativ flach, dadurch stieg der Meeresspiegel in der Kreide noch einmal stark an und überflutete weite Teile der flachen Kontinentareale. Die Höhe des Meeresspiegels dürfte 200 bis 250 m über heutigem Niveau gelegen haben. Ein ausgeprägtes Treibhausklima und der hohe Meeresspiegelstand verursachten ein sehr warmes, humides Klima bis in hohe Breiten. Noch bei 80° nördlicher Breite gab es Wälder mit laub-

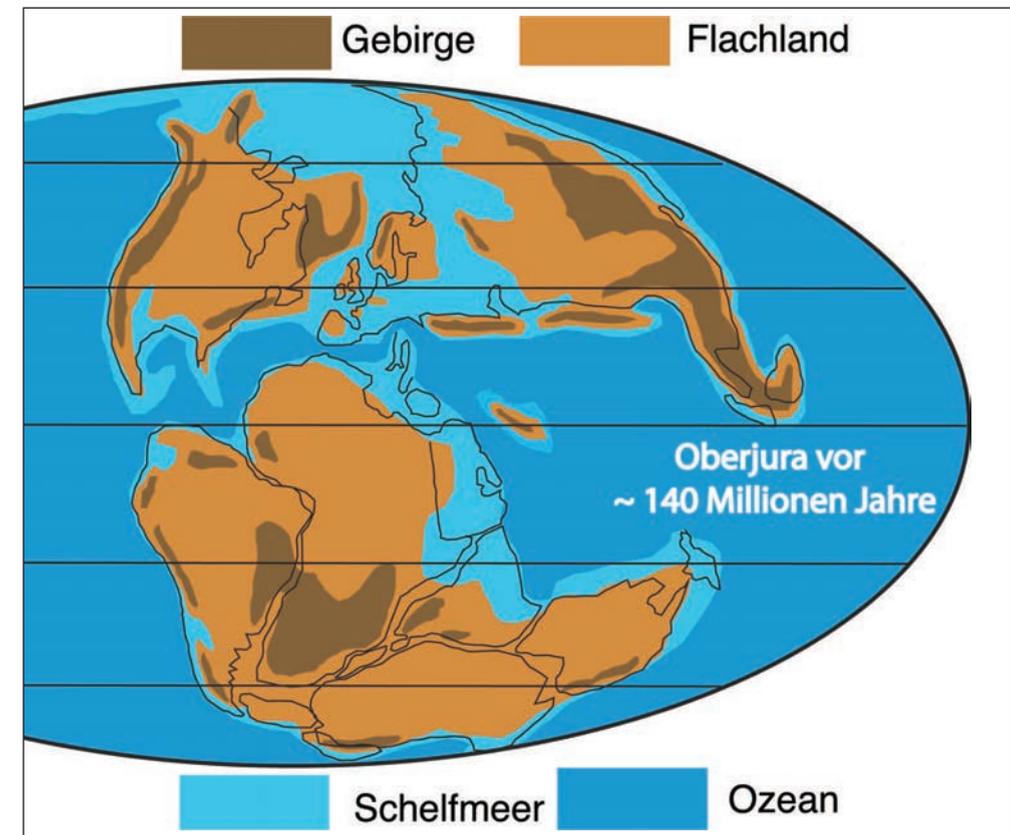


Abb. 4 Anordnung der Kontinente im Oberjura. Mitteleuropa lag bei etwa 25° nördlicher Breite und war überwiegend von einem flachen Schelfmeer bedeckt. Zu dieser Zeit standen die Dinosaurier auf den Festländern in voller Blüte. Im Meer tummelten sich die Ichthyosaurier (Fischsaurier) und die Plesiosaurier (Paddelchsen). Im Verlauf des Jura zerbrach der Superkontinent Pangaea. Der zentrale Teil des Atlantischen Ozeans öffnete sich und zwischen Afrika und Europa öffnete sich die Westtethys. So entstand ein warmer, äquatorialer, weltumspannender Ozean. Das Klima im Jura war warm und humider als in der Trias.

werfenden und teilweise auch immergrünen Blütenpflanzen. Folglich herrschten auch in Polnähe zur Winterzeit Temperaturen über 0°C, in den wärmsten Abschnitten der Kreide sogar bis + 10°C. Gegen Ende der Kreide kühlte das Klima langsam ab (FASTOVSKY und WEISHAMPEL 2005).

3. Die Anfänge der Dinosaurier

Die Dinosaurier sind vor etwa 225 Millionen Jahren aus den Archosauria hervorgegangen (Abb. 2), wie zum Beispiel auch die Flugsaurier und die Krokodile, mit denen sie verwandt sind. Sie breiteten sich sehr rasch aus und verdrängten in kurzer Zeit andere Reptilien (diver-

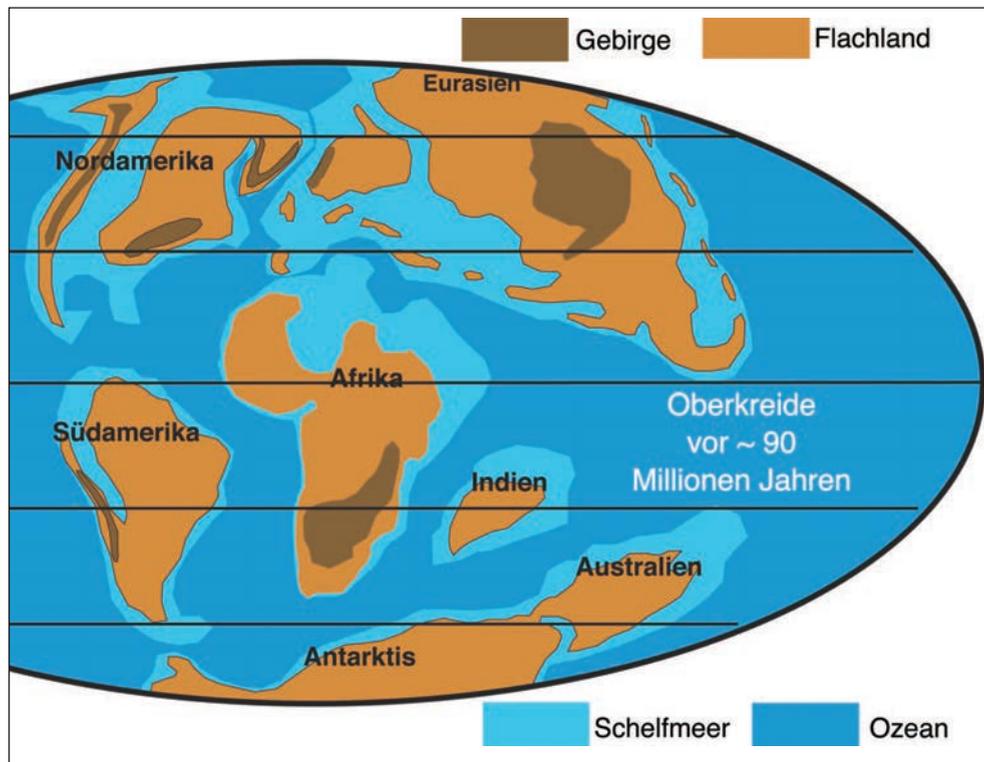


Abb. 5 In der Kreide zerfällt auch noch der große Südkontinent, so daß nun viele relativ kleine, durch Ozeane getrennte, Kontinente bestehen. Der Meeresspiegelstand in der Kreide war der höchste in den letzten 250 Millionen Jahren. Viele flache Kontinentbereiche waren überflutet. Das Klima der Kreide war bis in die Polregionen warm und humid. Wahrscheinlich herrschten auch an den Polen ganzjährig Temperaturen über 0°C.

se Archosauria und die säugerähnlichen Reptilien). Ob es sich dabei um einen nur auf Konkurrenz zurückgehenden Verdrängungsprozeß handelt, ist fraglich, denn viele der verschwundenen Konkurrenten zeigten ähnliche Anpassungsvorteile (senkrechte Beinsetzung, große Schnelligkeit, rasche evolutive Größenzunahme usw.). Eine alternative Erklärung ist, daß die Dinosaurier weniger stark von dem Massenaussterben am Ende der Trias betroffen waren als ihre Konkurrenten und sie somit bei ihrer Radiation viele freie Ökologische besetzen konnten. Das sehr rasche Verschwinden der säugerähnlichen Reptilien, das durch Konkurrenz schwer erklärbar ist, stützt diese Theorie. Unklar ist allerdings die Ursache des Massenaussterbens. Neben einem Meteoriteneinschlag und intensivem Vulkanismus werden auch Klimaänderungen von arid zu humid und eine Umstellung in der globalen Vegetation zu moderneren Gymnospermen diskutiert. Möglicherweise steht also nicht nur das Ende der Dinosaurier, sondern auch ihr Anfang mit einer globalen Katastrophe im Zusammenhang (OLSEN et al. 2002).

Die ersten eindeutigen Dinosaurier sind *Eoraptor* (Länge 1 m) und *Herrerasaurus* (etwa 1,5 m Länge) aus Argentinien (BENTON 2002). Beides waren schnelle zweibeinige Räuber. Als typische Dinosauriermerkmale gelten die senkrechte Beinsetzung (Abb. 6C), ein langer und s-förmig gebogener „Schwanenhals“, eine kurze Vorderextremität mit „Greifhand“, eine lan-

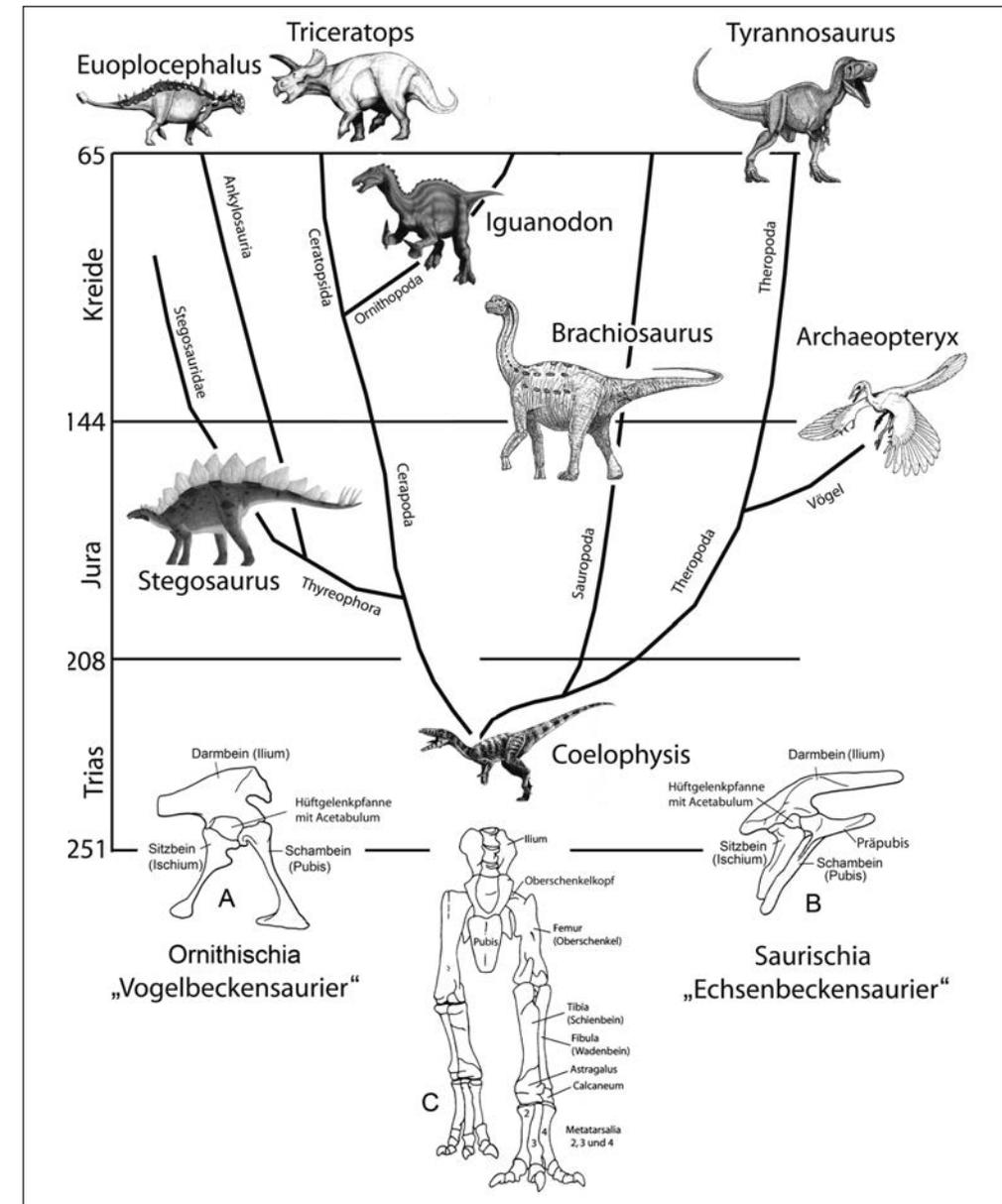


Abb. 6 Nach ihrer Entstehung in der Trias (vor etwa 225 Millionen Jahren) teilten sich die Dinosaurier bald in zwei Hauptentwicklungslinien (Ornithischia und Saurischia), die nach ihrem Beckenbau unterschieden werden. Zu den Ornithischia (Vogelbeckensaurier, A) gehören die Ceratopoda mit typischen Formen wie *Triceratops* und *Iguanodon* sowie die Thyreophora mit *Stegosaurus* und *Euoplocephalus*. Die Saurischia (Echsenbeckensaurier, B) bestehen im wesentlichen aus den Sauropoda (Elefantenfußsaurier, z. B. *Brachiosaurus*) und den Theropoda (Raubdinosaurier, z. B. *Tyrannosaurus*). In beiden Entwicklungslinien entstanden schnelle Läufer. Voraussetzung dafür war die senkrechte Beinsetzung mit abgewinkeltem Femurkopf (C), wie hier am Beispiel von Bein- und Beckenbau des *Tyrannosaurus* gezeigt (kompiliert nach verschiedenen Quellen).

ge Hinterextremität mit reduziertem Fersenbein (Calcaneus) und vergrößertem Sprungbein (Astragalus), ein langer beweglicher Schwanz als Balance für Bipedie (zweibeinige Fortbewegung) und eine Öffnung (Acetabulum) in der Gelenkgrube des Beckens für den Femurkopf. Weiterhin typisch ist ein kräftigeres Schienbein (Tibia) verglichen mit dem Wadenbein (Fibula). Von den ursprünglich 5 Zehen sind die 1. und 5. Zehe stark reduziert oder fehlend (Abb. 6C). Die Dinosaurier waren Zehengänger wie Hunde und Katzen heute.

Die evolutive Größenzunahme und die Anpassung an Fleisch und Pflanzen als Nahrung folgten sehr rasch. Schon vor 215 Millionen Jahren lebte im süddeutschen Raum *Plateosaurus*, der mit 7 m Länge einer der ersten großen, pflanzenfressenden Dinosaurier war und als Stammform der großen Sauropoden (Elefantenfußsaurier) gilt. *Plateosaurus* konnte sich vermutlich auf zwei und auf vier Füßen fortbewegen (bi- und quadruped) und vermittelt zwischen der überwiegend bipeden Fortbewegung der Theropoda (Raubsaurier) und der quadrupeden Fortbewegung der Sauropoden. Die Anpassung von Kiefer und Zähnen an pflanzliche Nahrung war bei *Plateosaurus* noch nicht voll entwickelt. Die Zahndifferenzierung war noch gering, und die Kiefer konnten keine Mahlbewegungen durch seitliches Verschieben ausführen. Die Nahrung wurde zum Teil durch Magenperistaltik unter Mithilfe von Magensteinen zerkleinert (BENTON 2002).

Die Dinosaurier werden anhand der Beckenknochen in zwei große Gruppen, die **Saurischia** (Echsenbeckensaurier) und die **Ornithischia** (Vogelbeckensaurier), gegliedert (Abb. 2 und 6). Die Saurischia sind seit der Obertrias (vor 225 Millionen Jahren) nachgewiesen. Ihr Schambein (Pubis) ist langgestreckt und zeigt nach vorne (Präpubis) und nach hinten. Der hintere Teil ist mit dem Sitzbein (Ischium) verwachsen (Abb. 6B). Zu den Saurischia gehören die Theropoda (überwiegend bipede Raubsaurier unterschiedlicher Größe, z. B. *Tyrannosaurus*), aus denen sich die Vögel entwickelten, und Sauropoda (quadrupede Pflanzenfresser, die gewaltige Körperausmaße erreichen können, z. B. *Brachiosaurus*). Die Ornithischia sind vermutlich gleich alt wie die Saurischia, aber erst seit dem untersten Jura (vor 208 Millionen Jahren) bekannt. Ihr Pubis zeigt nach vorne, das Ischium nach hinten (Abb. 6A). Die Ornithischia waren ausschließlich Pflanzenfresser und lassen sich wieder in zwei große Gruppen gliedern: die Ceratopoda mit den Ornithopoda (z. B. *Iguanodon*) und Ceratopsia (z. B. *Triceratops*) einerseits und andererseits den Thyreophora, zu denen die Stegosauria (z. B. *Stegosaurus*) und die Ankylosauria (z. B. *Euoplocephalus*) gehören. Die hier und auch im Folgenden benutzte Einteilung der verschiedenen Dinosaurier stützt sich auf verschiedene Quellen, zu nennen sind vor allem SERRENO (1999), PISANI et al. (2002) und FASTOVSKY und WEISHAMPEL (2005).

4. Die Blütezeit

Der Zeitraum von 200 bis 65 Millionen Jahre, also Jura und Kreide, kann als das Zeitalter der Dinosaurier bezeichnet werden. In diesem Zeitintervall erlebten sie eine enorm weite Verbreitung auf allen Kontinenten, von den tropischen Regionen bis in die Polarkreise hinein (CLEMENS und NELMS 1993). Pflanzenfresser bevölkerten z. T. in großen Herden die Flachlandbereiche und Mittelgebirgsregionen und wanderten als Weidegänger durch lichte Wälder und Küstensümpfe viele hundert Kilometer, ähnlich wie heutige Gnu- und Zebraherden in der Afrikanischen Savanne. Vermutlich wurden sie von diversen Räubern begleitet, so wie sich Löwen und Hyänen immer in der Nähe der Gnu- und Zebraherden aufhalten, um Beute in Form von kranken, schwachen und jungen Tieren zu machen.

Ein grundsätzliches Problem bei der Frage, von welchen Pflanzen sich die Weidegänger unter den Dinosauriern ernährten, beruht auf der unterschiedlichen Überlieferungswahrscheinlichkeit von Knochen und Pflanzen in Abhängigkeit vom Klima. Pflanzenfossilien sind am ehesten in feuchten Klimabereichen zu erwarten, wo sich Sümpfe, Torfe und später Kohlen gebildet haben. Knochenfunde sind aber in ehemals trockenen Regionen viel häufiger (REES et al. 2004). Die meisten Dinosaurierfunde stammen folglich aus eher dünn besiedelten Gegenden, in denen nur wenig Pflanzenwuchs existierte. Dort, wo die Dinosaurierbesiedlung vermutlich am dichtesten war, fehlen Fossilien dagegen weitgehend.

Die Ausbreitung der Dinosaurier über die gesamte Erde erfolgte wahrscheinlich während der Obertrias und im Jura, solange der Superkontinent Pangaea noch nicht völlig zerbrochen war. Im Oberjura und vor allem in der Kreide existierten dann viele kleinere Kontinente, auf denen die Weiterentwicklung der verschiedenen Dinosaurierlinien weitgehend unabhängig verlief. Generell steigt die Diversität der Dinosaurier von der Trias bis in die Oberkreide an (CARROLL 1987, FASTOVSKY et al. 2004, vgl. Abb. 21). Wahrscheinlich wurden durch Spezialisierungen immer neue Ökonischen erschlossen. Auch die Bildung von vielen kleineren Kontinenten durch den Zerfall von Pangaea dürfte die Diversifizierung durch geographische Isolation begünstigt haben. Bis heute sind vermutlich über tausend verschiedene Dinosaurierarten bekannt, die zu mehr als 500 Gattungen gehören. Der Stand der Kenntnis ist aber auf den verschiedenen Kontinenten sehr unterschiedlich (FASTOVSKY et al. 2004). Der Wissensstand in Europa und Nordamerika, zum Teil auch in Asien (vor allem China), ist wesentlich besser als auf den übrigen Kontinenten. Bei einer ähnlich hohen Rate von neuen Funden wie in den letzten 15 bis 20 Jahren dürfte die Arten- und Gattungsanzahl weiterhin stark steigen.

4.1 Saurischia

Die Saurischia lassen sich in zwei große Gruppen unterteilen, die pflanzenfressenden, quadrupeden Sauropodomorpha und die fleischfressenden, bipeden Theropoda.

4.1.1 Theropoda

Die Theropoda waren eine formenreiche Gruppe (Abb. 8 und 9) überwiegend bipeder Raubsaurier von sehr unterschiedlicher Größe (Abb. 11). Sie lebten von der Obertrias bis zum Ende der Kreide. Die kleinsten Formen wie *Compsognathus* hatten nur 60 cm Körperlänge, während die größten wie *Tyrannosaurus*, *Tarbosaurus* oder *Baryonychus* bis 15 m Länge erreichten. Ihre Hinterbeine waren kräftig entwickelt, die Arme waren meist kurz und schwach, zum Teil waren aber die Hände mit drei kräftigen Greiffingern, vermutlich zum Festhalten von Beute, ausgestattet. Bei einigen großen Raubsauriern (z. B. *Tyrannosaurus*) waren die Vorderextremitäten so klein, daß ihnen keine erkennbare Funktion mehr zugeschrieben werden kann. Viele Theropoda waren schnelle Läufer, deren Laufgeschwindigkeit anhand von überlieferten Fährten berechnet werden kann. Vor allem kleinere Formen dürften zwischen 40 und 60 km/h als Spitzengeschwindigkeit erreicht haben, was vergleichbar ist mit schnellen Säugetieren. Große Räuber wie *Tyrannosaurus* waren vermutlich deutlich langsamer mit Geschwindigkeiten von maximal 20 km/h (FASTOVSKY und WEISHAMPEL 2005). Theropoda hatten im Vergleich zur Körpergröße große Schädel mit vielen Schädelöffnungen (Abb. 7). Die Augenöff-

nungen lagen dabei seitlich. Manche Formen zeigen leicht abgeflachte Gesichtsschädel, bei denen die Augen nach vorne gerichtet waren. Vermutlich verfügten sie über binokulares Sehen, was auch durch ihre für Dinosaurier überdurchschnittlich großen Gehirne (vergleichbar denen der Vögel) gestützt wird. Die Kiefer der Theropoda sind meist mit spitzen, dolchartigen Zähnen bestückt, die eine räuberische und aasfressende Lebensweise deutlich erkennen lassen.



Abb. 7 Schädelaufbau der großen Theropoda am Beispiel eines *Allosaurus* aus dem Oberjura (Schädellänge 1,2 m). Die Allosaurier waren die größten Räuber ihrer Zeit mit einer Körperlänge von bis zu 12 m. Deutlich sichtbar sind die dolchartigen, bis 10 cm langen Zähne und die für fortschrittliche Theropoda typischen Schädelöffnungen. Von rechts nach links: Nasenöffnung, Maxillarfenster, Antorbitalfenster, Orbitalfenster (Augenöffnung) und Postorbitalfenster.

Für verschiedene Theropoda, vor allem aus den Gruppen der Ornithomimosauria, Oviraptorosauria und Eumaniraptora (Abb. 8 und 9), sind vermutlich von Hautschuppen abzuleitende, unverzweigte und verzweigte Filamente und sogar Reste einer Befiederung nachgewiesen (PETERS 2001, PLUM 2002, PLUM und BRUSH 2003). Seit einigen Jahren gibt es insbesondere in der Unterkreide von China spektakuläre Funde von relativ kleinen Theropoden, die eindeutig ein Federkleid hatten (PLUM und BRUSH 2003). Die Arme und zum Teil auch die Beine waren mit langen Federn bestückt, der Körper war von einer kurzen Befiederung, vermutlich zur Wärmeisolierung, bedeckt. Ihre zur Mittelachse symmetrischen Konturfedern sind nicht zum Fliegen geeignet. Dazu taugt nur die asymmetrische Fahne bei Schwungfedern, wie sie bereits seit 1861 von *Archaeopteryx* aus dem Oberjura in Bayern (WELLNHOFFER 2000) und neuerdings auch von vielen weiteren frühen Vögeln aus der Unterkreide bekannt ist. Die Befiederung bei verschiedenen Dinosauriergruppen zeigt, daß Federn nicht als Vogelmerkmal gelten können. Es drängt sich die Frage auf, wozu Dinosaurier Federn entwickelten? Federn

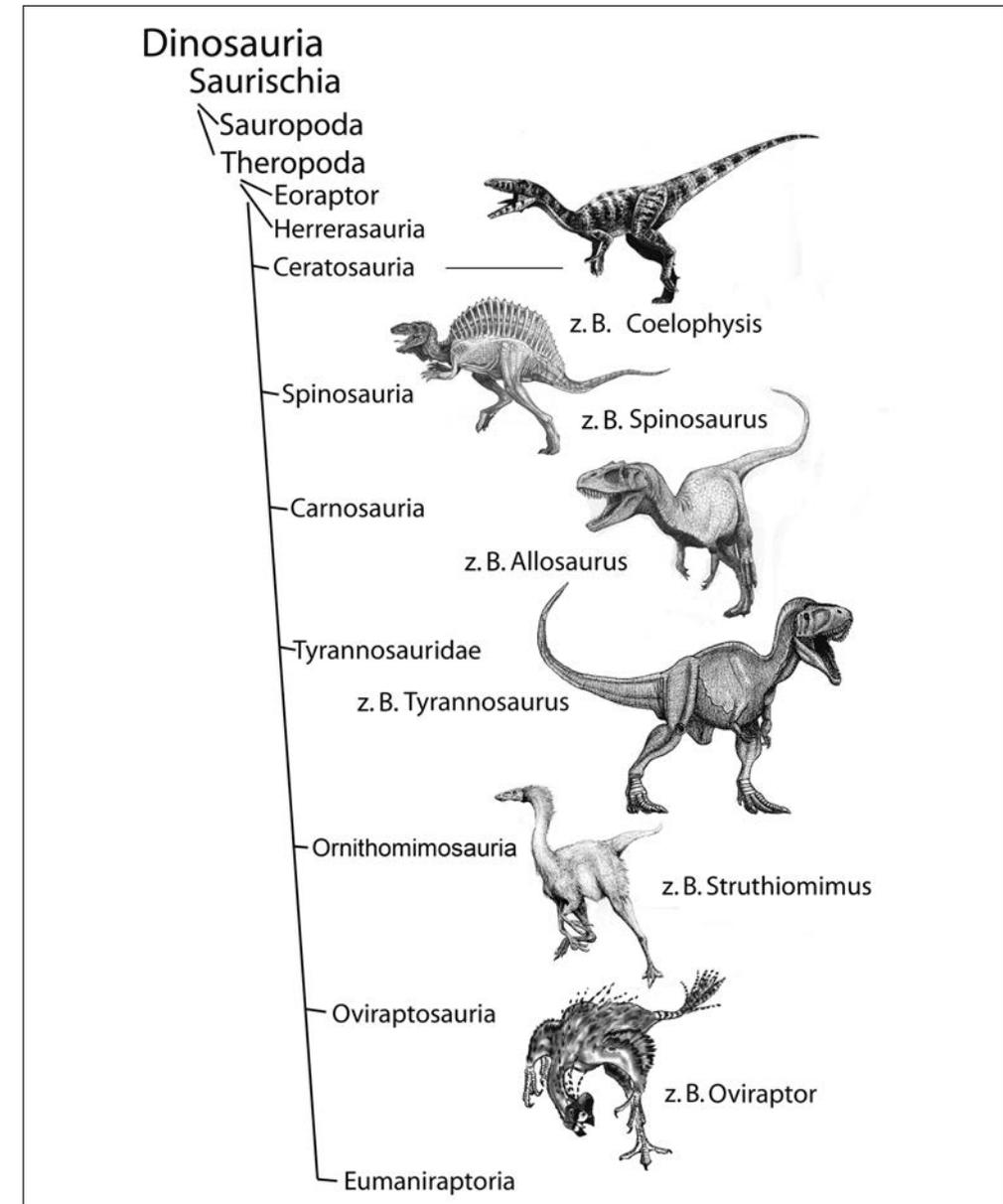


Abb. 8 Stark vereinfachter Stammbaum der Theropoda, ohne die zu den Vögeln führende Linie der Eumaniraptora (siehe Abb. 9). Bereits bei den Ornithomimosauria, den Oviraptorosauria und bei den Eumaniraptora (sowie einigen weiteren Formen) waren Federn vorhanden. Zumindest für diese Gruppen gilt Warmblütigkeit als gesichert (kompiliert nach verschiedenen Quellen).

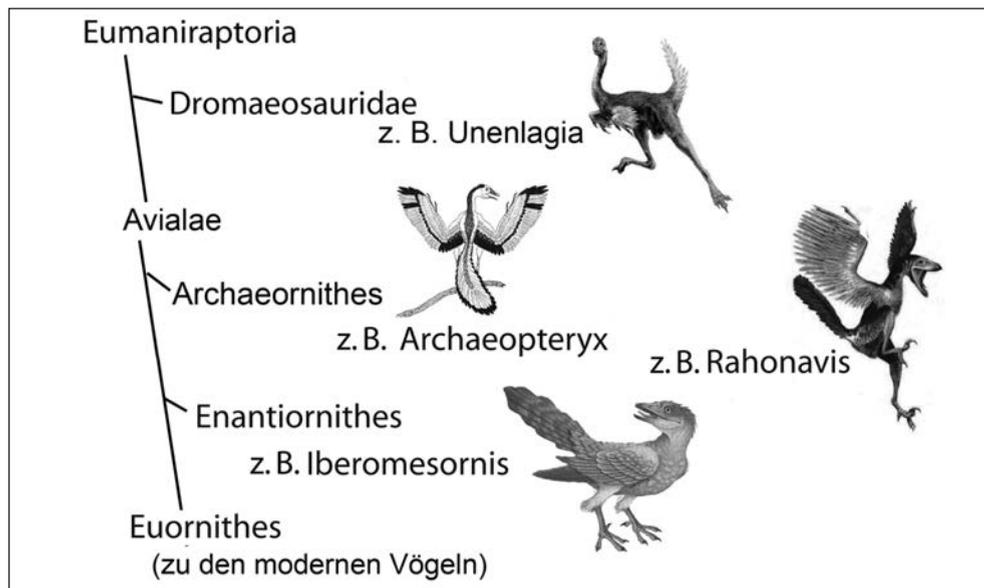


Abb. 9 Aus einer speziellen Gruppe der Dinosaurier, den Eumaniraptoria, die bereits ein üppiges Gefieder hatten, entwickelten sich die Vögel, mit *Archaeopteryx* und den nachfolgenden Formen. Entwicklungsgeschichtlich sind die Vögel folglich Dinosaurier (kompiliert nach verschiedenen Quellen).

können, neben der Eignung zum Flug, die sich sicherlich erst sekundär entwickelt hat, viele Funktionen erfüllen, z. B. Tarnung, Signalwirkung, Arterkennung und auch Wärmeisolation. Diese Funktionen wirkten sich vermutlich alle bei der Selektion positiv aus und begünstigten die Entwicklung von Federn aus unverzweigten und verzweigten, filamentartigen Vorstufen. Eine zentrale Rolle dürfte aber die Wärmeisolation gespielt haben (PETERS 2001, PLUM 2002, PLUM und BRUSH 2003). Damit muß aber die lange diskutierte Frage der Warmblütigkeit bei einigen Gruppen der Dinosaurier neu bewertet werden. Schon lange wird auf Grund der Schnelligkeit vieler Dinosaurier, der Knochenstruktur, der Verbreitung bis in die Polarkreise und der aus dem Fossilmaterial ablesbaren Nahrungspyramide Warmblütigkeit für viele Theropoda (und auch für die, mit den Dinosauriern nahe verwandten, Pteropoda [Flugsaurier]) vermutet (BENTON 2002). Ein Federkleid zur Wärmeisolation ist nur bei Warmblütigkeit sinnvoll. So müssen also zumindest die befiederten Dinosaurier Warmblüter gewesen sein bzw. sich auf dem Entwicklungsweg in diese Richtung befunden haben.

4.1.2 Sauropodomorpha

Die zweite große Gruppe der Saurischia sind die Sauropodomorpha (Abb. 10), zu denen der oben bereits besprochene *Plateosaurus* gehört. Am bekanntesten sind aber die großen, in Herden lebenden, pflanzenfressenden Sauropoda (Elefantenfußsaurier). Typisch sind die vier säulenförmigen, sehr kräftigen Beine, die den massigen Körper tragen. Schwanz und Hals sind sehr lang, der Kopf dagegen auffällig klein und oft mit einem verkürzten Kieferschädel. Im

Kiefer sind zahlreiche, kleine, nadelförmige Zähne vorhanden, mit denen Nadeln von Bäumen gezupft wurden. Zu den Sauropoda gehören die größten und schwersten Landtiere, die je gelebt haben. *Sauropseidon* hatte einen sehr langen Hals, mit dem er eine Höhe von 18 m erreichen konnte. Für *Argentinosaurus* wird eine Länge von 40 bis 45 m angegeben. Dagegen scheint *Brachiosaurus*, der größte weitgehend komplett überlieferte Dinosaurier, mit 12 m Höhe und 30 m Länge eher bescheiden in seinen Ausmaßen (BENTON 2002, Abb. 11). Ihre Größe erlaubte den Sauropoden an die Blätter und Zweige hoch wachsender Bäume zu gelangen, die für andere Pflanzenfresser unerreichbar waren. Wegen ihrer Größe war ihre Fortbewegung eher träge.

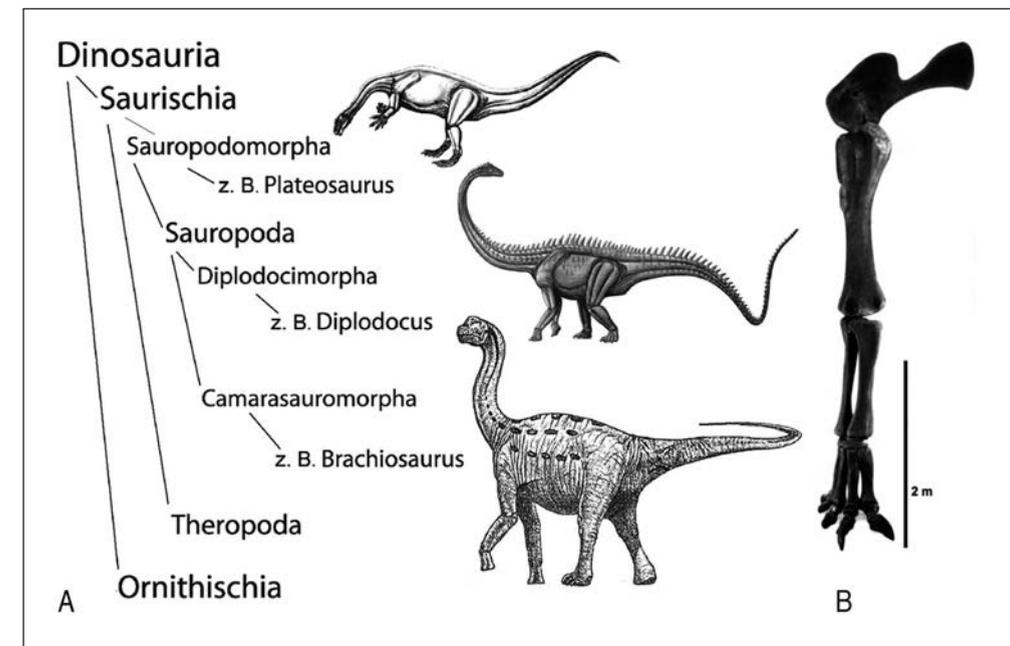


Abb. 10 Links: Die Sauropodomorpha sind die zweite große Gruppe der Saurischia. Zu ihnen gehören die Riesen der Dinosaurierzeit wie z. B. *Brachiosaurus* (siehe auch Abb. 11). Rechts: Rechtes Hinterbein eines *Supersaurus*, alleine die Höhe bis zum Becken beträgt über 5 m (kompiliert nach verschiedenen Quellen).

4.2 Ornithischia

Wie die Saurischia lassen sich auch die Ornithischia in drei große Gruppen unterteilen, die Cerapoda, die Ornithopoda und die Thyreophora. Alle drei waren Pflanzenfresser und entwickelten spezielle Zahntypen und Kiefergelenke, um pflanzliche Nahrung effizient aufzuschließen.

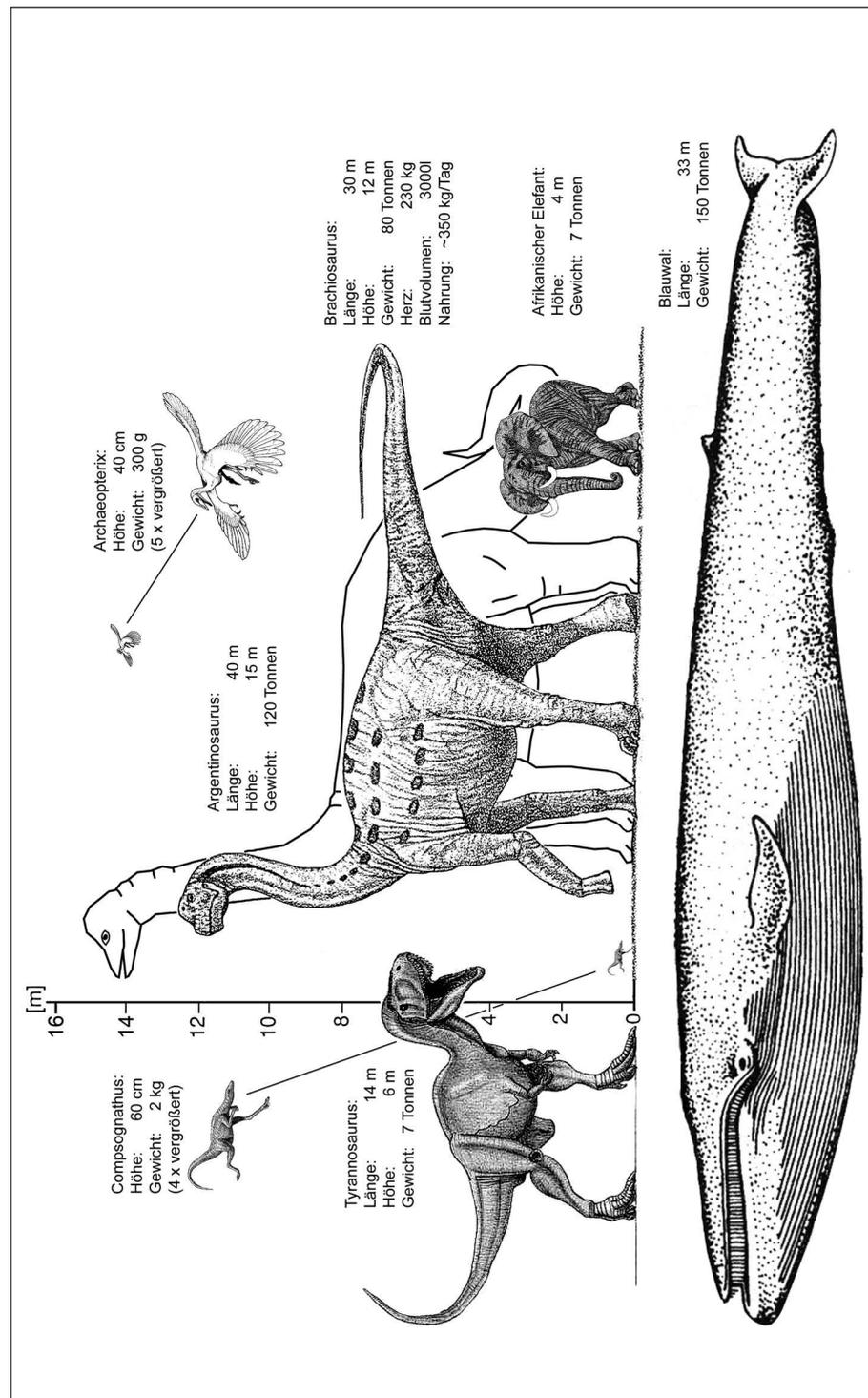


Abb. 11 Größen- und Gewichtsvergleich verschiedener Dinosaurier, Vögel und Säuger. Die großen Sauropoda (z. B. *Brachiosaurus* und *Argentinosaurus*) sind die bei weitem größten und schwersten Landtiere, die je gelebt haben (kompiliert nach verschiedenen Quellen).

4.2.1 Cerapoda

Als **Cerapoda** (Hornfußsaurier, Abb. 12) wird eine Gruppe quadru- und bipeder Pflanzenfresser zusammengefaßt, die am Kopf Hörner trugen und/oder eine stark verdickte Schädeldecke hatten. Sie besteht aus den Pachycephalosauria und den Ceratopsia.

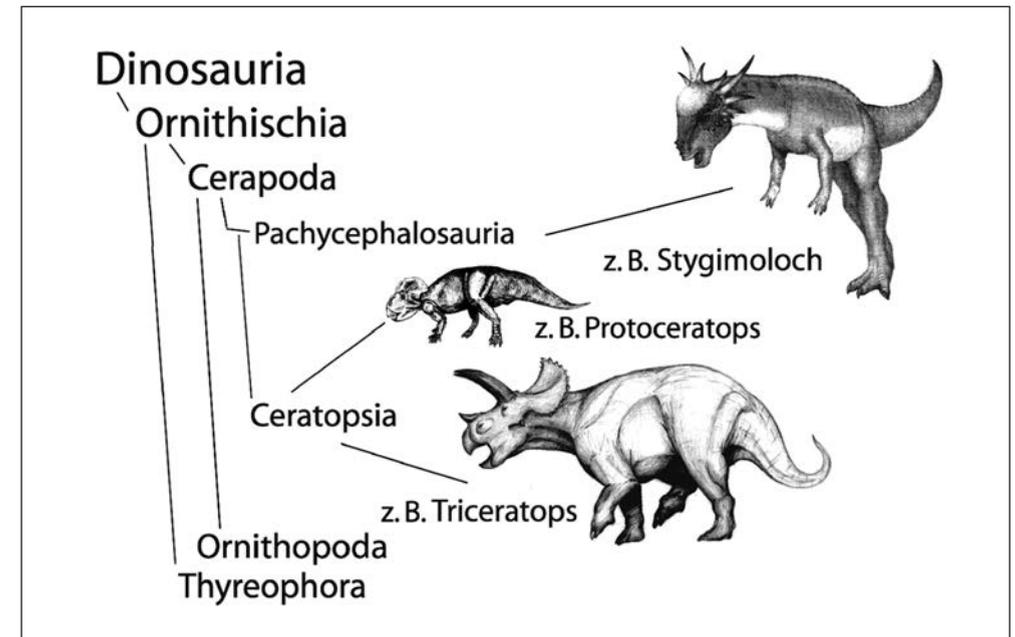


Abb. 12 Stark vereinfachter Stammbaum der Cerapoda, zu denen die Pachycephalosauria und die Ceratopsia gehören (kompiliert nach verschiedenen Quellen).

Die **Pachycephalosauria** waren bipede, mittelgroße (etwa 5 bis 8 m) Saurier, die zum Teil hornartige Fortsätze am Kopf hatten und deren Schädeldecke 20 cm dick wurde bei einer Schädelgröße von etwa 60 cm. Vermutlich führten die Pachycephalosauria mit ihren Köpfen bei Rivalenkämpfen, vielleicht auch bei Angriffen von Feinden, Rammstöße aus. Im Kiefer trugen sie relativ wenig differenzierte Schneide-, Eck- und Backenzähne.

Auch die, in der Oberkreide in Herden lebenden, **Ceratopsia** (Hornträger) trugen Hörner und Nackenschilde, die bei den kleinen (1 bis 3 m) Vorläuferformen (z. B. *Protoceratops*) nur angedeutet waren. Die späteren Hornsaurier waren deutlich größer und schwerer (z. B. *Triceratops*, bis 9 m Länge und 7 t Gewicht). Sie hatten ein langes Nasenhorn und zum Teil zwei Stirnhörner. Der Nackenschild zeigte oft Durchbrüche oder bestand aus Knochenstrahlen. Der Nackenschild diente anfänglich wahrscheinlich als Ansatzpunkt für die Kaumuskulatur und später zusätzlich als Schutz und Arterkennungsmerkmal. Die Hörner waren gefährliche Waffen bei Feindangriffen und Rivalenkämpfen. Die Ceratopsia hatten spitz zulaufende Kiefer mit einer verknöcherten, schnabelartigen Schnauze. Zähne waren nur im hinteren Teil des Kiefers vorhanden (Abb. 13). Sie waren in mehreren Reihen übereinander angeordnet. Beim

Kauen glitten die fast senkrecht stehenden Schneideflächen aneinander vorbei und quetschten und zerrieben die Nahrung (FASTOVSKY und WEISHAMPEL 2005).



Abb. 13 Schädel eines *Triceratops* mit einem Nasenhorn und zwei Hörnern über den Augen. Zusätzlich war ein großes knöchernes Nackenschild ausgebildet. Die Kiefer liefen spitz und schnabelartig zusammen. Es waren nur Backenzähne vorhanden.

4.2.2 Ornithopoda

Ornithopoda (Vogelfußsaurier): Die Ornithopoda (Abb. 14) sind die größte und bei weitem erfolgreichste Gruppe der Ornithischia. Sie lebten in großen Herden mit vielen Individuen verschiedener Arten zusammen.

Die **Hypsilophodontia** waren kleine bis mittelgroße, schnelle zweibeinige Läufer mit einem versteiften Schwanz als Balance. Sie waren im Oberjura und in der Unterkreide von Europa weit verbreitet. Ihre Kiefer konnten Scherbewegungen zur Zerkleinerung der pflanzlichen Nahrung durchführen, was die Verdauung und Nahrungsnutzung erheblich erleichterte (NORMAN und WEISHAMPEL 1985). Die **Iguanodontoidea** waren große (bis 12 m), relativ schwere (5 bis 6 t) Dinosaurier mit einem pferdeartigen Kopf. Ihre Arme waren länger, vermutlich konnten sie sich auf zwei und auf vier Füßen fortbewegen. Hände und Füße hatten hufartige Bildungen an den Zehen. An den Händen waren die Mittelhandknochen verschmolzen, und der Daumen bestand nur aus einem dornenartig verlängerten Glied, das als Waffe zur Verteidigung eingesetzt werden konnte. *Iguanodon* (Leguanzahn) war einer der ersten Dinosaurier, die wissenschaftlich beschrieben wurden. Bei den ersten Rekonstruktionsversuchen 1835 und 1852 wurde allerdings der Daumendorn irrtümlicher Weise auf die Nase plaziert. Bezahnung und Gebiß von Iguanodontidae waren bereits ähnlich wie bei den Hadrosauridae.

Die größte und formenreichste Gruppe der Ornithopoda waren die **Hadrosauoidea** (Entenschnabelsaurier), die in der Oberkreide lebten. Ihr Ober- und Unterkiefer ist am Vorderrand schnabelartig verbreitert und zahnlos (Abb. 15). Im Backenkiefer waren dafür mehrere dichte

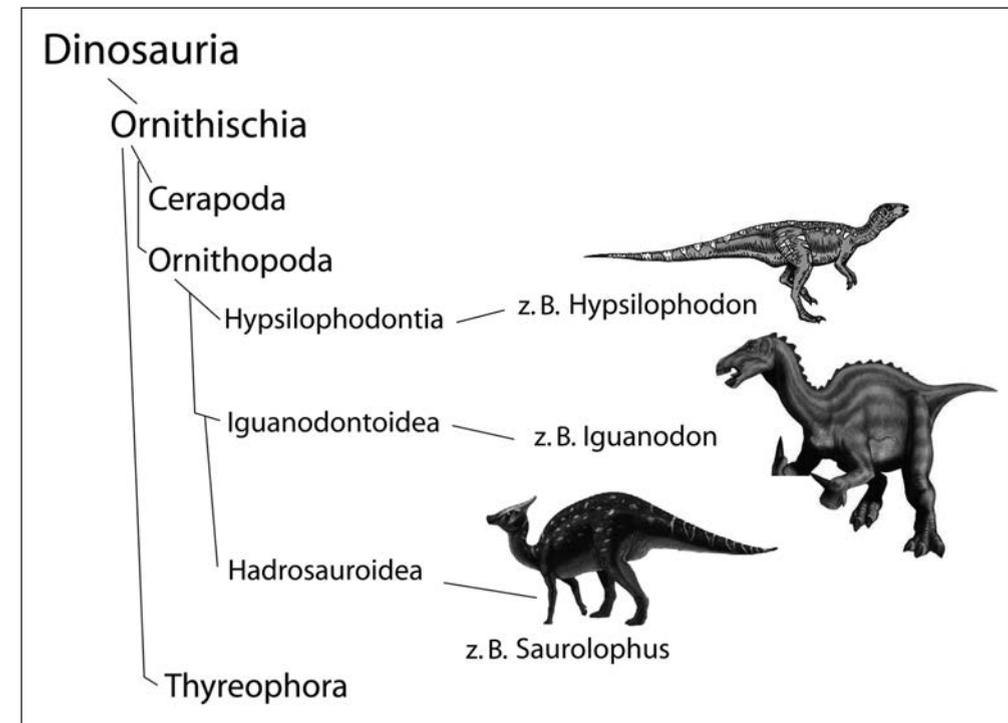


Abb. 14 Die bei weitem größte Gruppe der Ornithischia sind die Ornithopoda (Vogelfußsaurier) mit den Hypsilophodontidae, den Iguanodontoidea und den Hadrosauoidea (kompiliert nach verschiedenen Quellen).

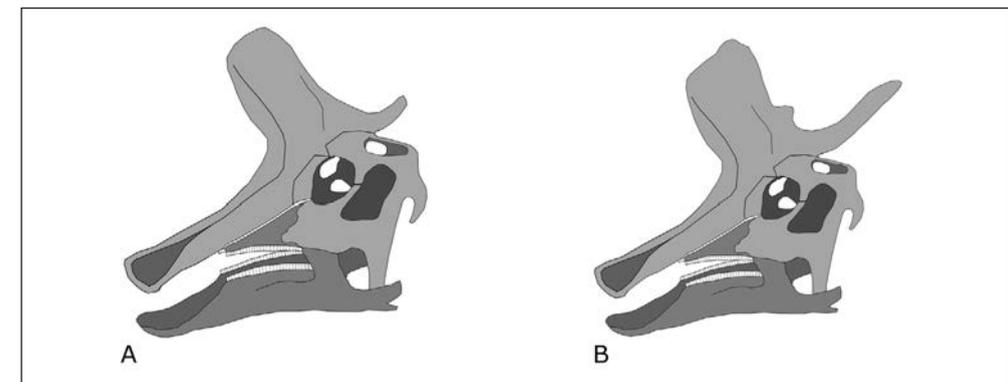


Abb. 15 *Lambeosaurus*, ein Hadrosaurier aus der Oberkreide, erreichte 10 bis 15 m Länge. *Lambeosaurus* hatte wie viele Hadrosaurier auf dem Kopf eine helmartige, hohle Verknöcherung. Über ihre Funktion wurde viel spekuliert. In Diskussion sind schnorchelartige Fortsätze für ein Leben in Seen, ein besonders leistungsfähiges Riechorgan und ein trompetenartiges Organ zur Erzeugung von Tönen. Eine andere Erklärung mutmaßt artspezifische Sexualmerkmale, die zwischen männlichen und weiblichen Tieren unterschiedlich ausgeprägt waren. Bei (A) handelt es sich vermutlich um einen weiblichen *Lambeosaurus*. Bei mutmaßlich männlichen Tieren (B) ist der Schädelkamm größer und der rückwärtige Fortsatz deutlich länger.

te Reihen von gleichförmigen Zähnen vorhanden. Beim Kauen glitten die Zähne des Ober- und Unterkiefers in schrägem Winkel aneinander vorbei, wodurch die Pflanzennahrung sehr effektiv zerkleinert wurde. Dazu war allerdings im Gaumendach ein zusätzliches Gelenk (pleurokinetisches Gelenk) notwendig, das beim Schließen der Kiefer eine Bewegung der Oberkieferzähne nach außen erlaubte (NORMAN und WEISHAMPEL 1985). Mumifizierte Funde ließen noch Reste des Mageninhalts erkennen, der aus Nadeln und Zweigen von Koniferen (Nadelbäumen) und anderen Pflanzen bestand. Viele Hadrosaurier haben besondere knöcherne Auswüchse am Kopf, die helm- oder hornartig aussehen (Abb. 15). Die Knochen waren hohl und mit der Nasenhöhle verbunden. Die Funktion dieser Auswüchse ist noch nicht zufriedenstellend geklärt. Gemutmaßt werden schnorchelartige Fortsätze für ein Leben in Seen, ein besonders leistungsfähiges Riechorgan oder ein trompetenartiges Organ zur Erzeugung von Tönen. Derzeit favorisiert wird die Erklärung von HOBSON (1975), der die Auswüchse als artspezifische Erkennungsmerkmale mit Sexualdimorphismus erklärt.

4.2.3 Thyreophora

Die **Thyreophora** (Abb. 16) sind eine Gruppe quadrupeder, pflanzenfressender Dinosaurier, die sich durch Schutzmechanismen wie Dornen und Hautknochenplatten auszeichnen. Sie bestehen aus den Stegosauria und den Ankylosauria. **Stegosauria** haben kürzere Vorder- und deutlich längere Hinterbeine und sind aus dem Oberjura und der Unterkreide bekannt. Sie wurden bis 9 m lang. Weitere Merkmale sind der auffällig kleine Schädel, eine einfache Bezzahnung und eine oder zwei Reihen von Dornen oder Knochenplatten am Rücken, die nicht

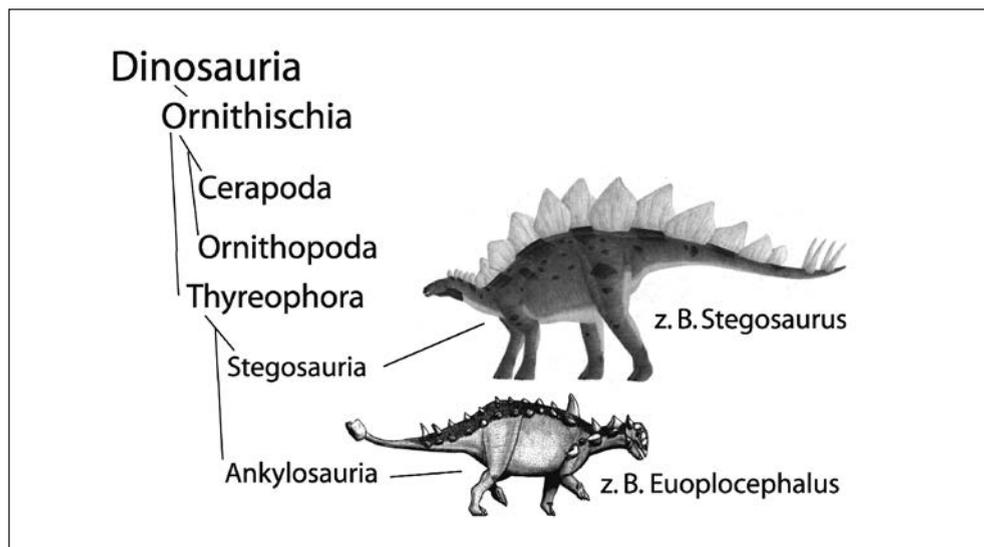


Abb. 16 Stark vereinfachter Stammbaum der Thyreophora mit den Stegosauria und den Ankylosauria (kompiliert nach verschiedenen Quellen).

mit der Wirbelsäule verwachsen waren. Der lange Schwanz war am Ende mit zwei Stachelpaaren bestückt. Als Funktion für die Rückenplatten sind Sexualdimorphismus, Ablenkstrukturen für Feinde, Thermoregulation und Schutz in der Diskussion (BENTON 2002). Bei den Schwanzstacheln ist die Schutzfunktion eindeutig.

Die aus der Oberkreide bekannten **Ankylosauria** waren relativ plump und vermutlich in der Fortbewegung eher schwerfällig. Ihr bis 9 m langer Körper war am Kopf und am Rücken mit Hautknochenplatten und Dornen überzogen. Auch das Augenlid war verknöchert und die Nasenöffnungen waren ebenfalls von schützenden Knochenplatten bedeckt. Das keulenförmig verdickte Schwanzende war sicher eine für Feinde abschreckende Waffe.

5. Der Niedergang und das Ende der Dinosaurier

Am Ende der Kreide, vor 65 Millionen Jahren, ereignete sich eines der größten Massenaussterben in der Erdgeschichte (PÁLFY 2005). Zahlreiche Arten und Taxa höherer Ordnung an Land und im Meer starben aus. In den Medien und der Öffentlichkeit wird davon meistens nur das Ende der Dinosaurier und der damit verbundene Aufstieg und Siegeszug der Säugetiere und schließlich auch des Menschen wahrgenommen. Die wirkliche Dimension der Katastrophe war aber wesentlich größer. Zählungen und Hochrechnungen lassen vermuten, daß etwa 50% aller Gattungen und 70 bis 80% aller Arten verschwunden sind (PÁLFY 2005).

Im marinen Bereich sind Ammoniten (hochentwickelte Tintenfische mit aufgerollter Schale), bestimmte Muschelgruppen (Inoceramen und Rudisten), Paddeleichen (Plesiosaurier), Fische (Ichthyosaurier) und Mosasaurier ausgestorben. Sehr stark dezimiert wurde das Phytoplankton (Coccolithen) und das Zooplankton (Foraminiferen und Radiolarien), viele Muscheln und Schnecken sowie die zu den Tintenfischen gehörenden Belemniten. Am Festland starben die Dinosaurier und Flugsaurier aus. Andere Reptiliengruppen und die Säugetiere waren weniger stark betroffen. Innerhalb der Säugetiere traf es die Beuteltiere stärker als die Plazentatiere.

Zahlreiche Hypothesen zum Kreide/Tertiär-Massenaussterben wurden und werden diskutiert, unter anderem eine Supernova-Explosion, extrem starker Vulkanismus und der Einschlag eines Asteroiden oder Kometen (Impakt-Theorie, Abb. 17).

Für eine Supernova-Explosion in der näheren Umgebung unseres Sonnensystems gibt es keinerlei Hinweise, deshalb werden derzeit vor allem die Impakt-Theorie (ALVARES et al. 1980, SMIT und HERTOGEN 1980) und die Vulkanismus-Theorie (OFFICER und DRAKE 1983, COURTILOTT et al. 1988) kontrovers diskutiert. Für beide Theorien werden „glasartige Kügelchen“, die in geschmolzenem Zustand weit durch die Luft geschleudert wurden, und „geschockte Quarze“, die unter extrem hohem Druck entstanden sind, angeführt. Beide finden sich in auffälliger Häufigkeit in der Kreide/Tertiär-Grenzschicht, während sie darüber und darunter fehlen. Auch die Anreicherung von Iridium, einem Element der Platingruppe, ist ungewöhnlich. Iridium ist in den Sedimenten an der Erdoberfläche normalerweise sehr selten, im Erdmantel und in Meteoriten dagegen sehr viel häufiger. Iridium wurde an über 100 Stellen, an denen wir die Kreide/Tertiär-Grenze kennen, in auffällig hohen Konzentrationen angetroffen. Extremer Vulkanismus und/oder ein Meteoriteneinschlag sind also plausibel.

Für beide Katastrophen werden auch ähnliche Folgeszenarien postuliert. Einer Druck- und Hitzewelle durch explosiven Vulkanismus bzw. durch einen Einschlag folgten große Mengen an teilweise geschmolzenem Auswurfmaterial (Abb. 18 und 19), mit riesigen Staubwolken,

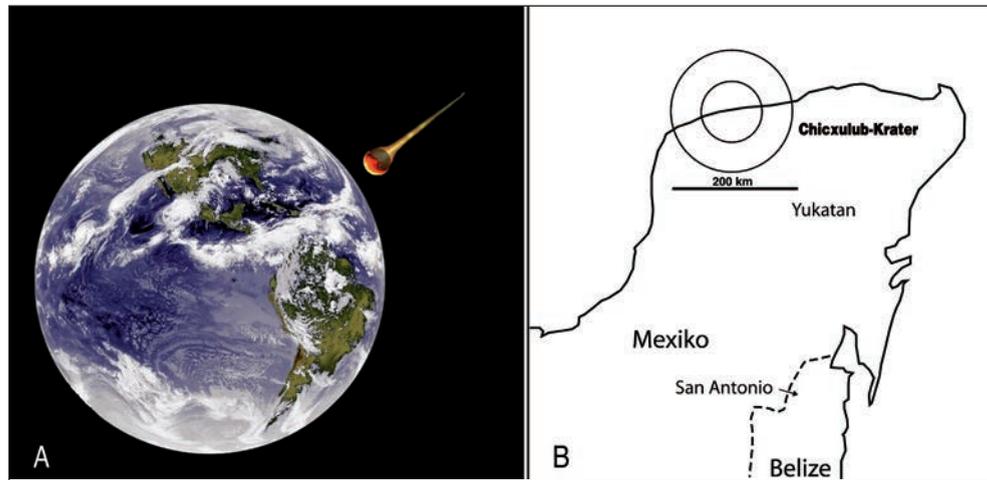


Abb. 17 (A): Animierte Darstellung eines einschlagenden Meteoriten. (B): Lage des Chicxulub-Kraters in Mexiko und des San-Antonio-Steinbruchs in Belize, einer der nächsten oberflächlich aufgeschlossenen Stellen mit Ablagerungen der Kreide/Tertiär-Grenze in etwa 300 km Entfernung.



Abb. 18 Im Steinbruch von San Antonio in Nordbelize (etwa 300 km von der Einschlagstelle entfernt) ist die mächtige Impaktbrekzie mit xenolithischen Blöcken von bis zu 5 m Durchmesser aufgeschlossen.

wodurch die Sonnenstrahlung stark reduziert wurde. Es wird vermutet, daß es auch bei Tag nicht heller als in einer Vollmondnacht wurde. Der Staub wurde bis hoch in die Stratosphäre geschleudert und verweilte dort etliche Jahre, vielleicht Jahrzehnte. In dieser Höhe gibt es

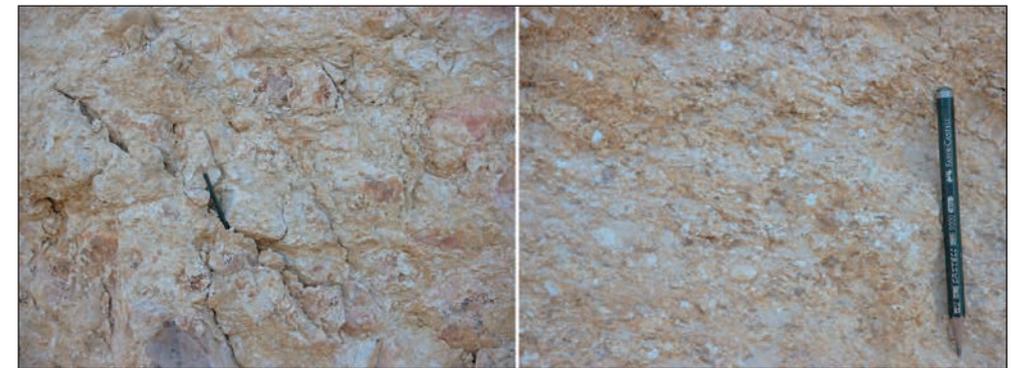


Abb. 19 Detailaufnahmen der Impaktbrekzie mit Komponenten von Millimeter bis Dezimeter Größe in einer glasartigen, ehemals geschmolzenen, Grundmasse.

kaum Wolken und Regen, die den Staub binden und auswaschen können. Als Folge stellte sich eine dramatische Abkühlung ein (kosmischer bzw. vulkanischer Winter), mit niedrigen Temperaturen (eventuell unter 0°C) bis in die tropischen Regionen. Die Vergiftung von Atmosphäre und Ozean durch Schwefeldioxid und andere giftige Gase, das fehlende Sonnenlicht und die Abkühlung führten schließlich zum Zusammenbruch der Phytoplankton- und Pflanzenproduktion. Vermutlich sind große Waldareale auch durch den Auswurf glutflüssigen Gesteins verheerenden Waldbränden zum Opfer gefallen. Über die Nahrungskette waren dann auch Pflanzen- und Fleischfresser betroffen, wodurch die Katastrophe ein Massenaussterben an Land und im Meer nach sich zog. Nach der Abkühlung folgte durch die große Menge an freigesetztem CO₂ eine Treibhausklimaphase, die zusätzlich zum Massenaussterben beigetragen hat.

An der Kreide/Tertiär-Grenze gab es große Mengen Flutbasalte in Indien (COURTILLOT et al. 1988), die in ein sehr enges Zeitfenster vor ziemlich genau 65 Millionen Jahren fallen. Sie bedeckten fast die halbe Fläche Indiens und waren vermutlich mehrere Kilometer dick. Eine extreme Vulkanaktivität herrschte also zur fraglichen Zeit. Vor einigen Jahren wurde zusätzlich die Einschlagstelle, mit knapp 200 km Durchmesser, eines vermutlich 10 km großen Meteoriten in Chicxulub (Yucatan) entdeckt (HILDEBRAND 1991), der mit Sicherheit zum Massenaussterben beigetragen hat (Abb. 17). Der Meteorit schlug in ein flaches Schelfmeer ein. Die Auswurfmassen und Tsunami-Sedimente sind in Nord- und Südamerika weit verbreitet. Die nächsten Oberflächenaufschlüsse liegen etwa 300 km südlich der Einschlagstelle (Abb. 17, 18 und 19). Es gibt immer noch viele Anhänger, die ausschließlich der einen oder der anderen Erklärung anhängen. Wahrscheinlicher ist aber eine Kombination von extremer Vulkantätigkeit und einem Meteoriteneinschlag (vielleicht auch mehreren), die zeitlich etwa zusammenfallen und sich in ihrer katastrophalen Wirkung verstärkten.

Aber auch damit ist der Verlauf des Massenaussterbens nicht vollkommen schlüssig erklärbar. Paläontologische Daten dazu zeigen ein sehr heterogen verteiltes Aussterbemuster (Abb. 20). Manche Gruppen, wie z. B. das marine Plankton (Coccolithen, Foraminiferen), fehlen sehr plötzlich, innerhalb von etwa 10000 Jahren. Möglicherweise war es auch deutlich rascher, aber eine genauere zeitliche Auflösung als 10000 Jahre ist derzeit nicht möglich. Vie-

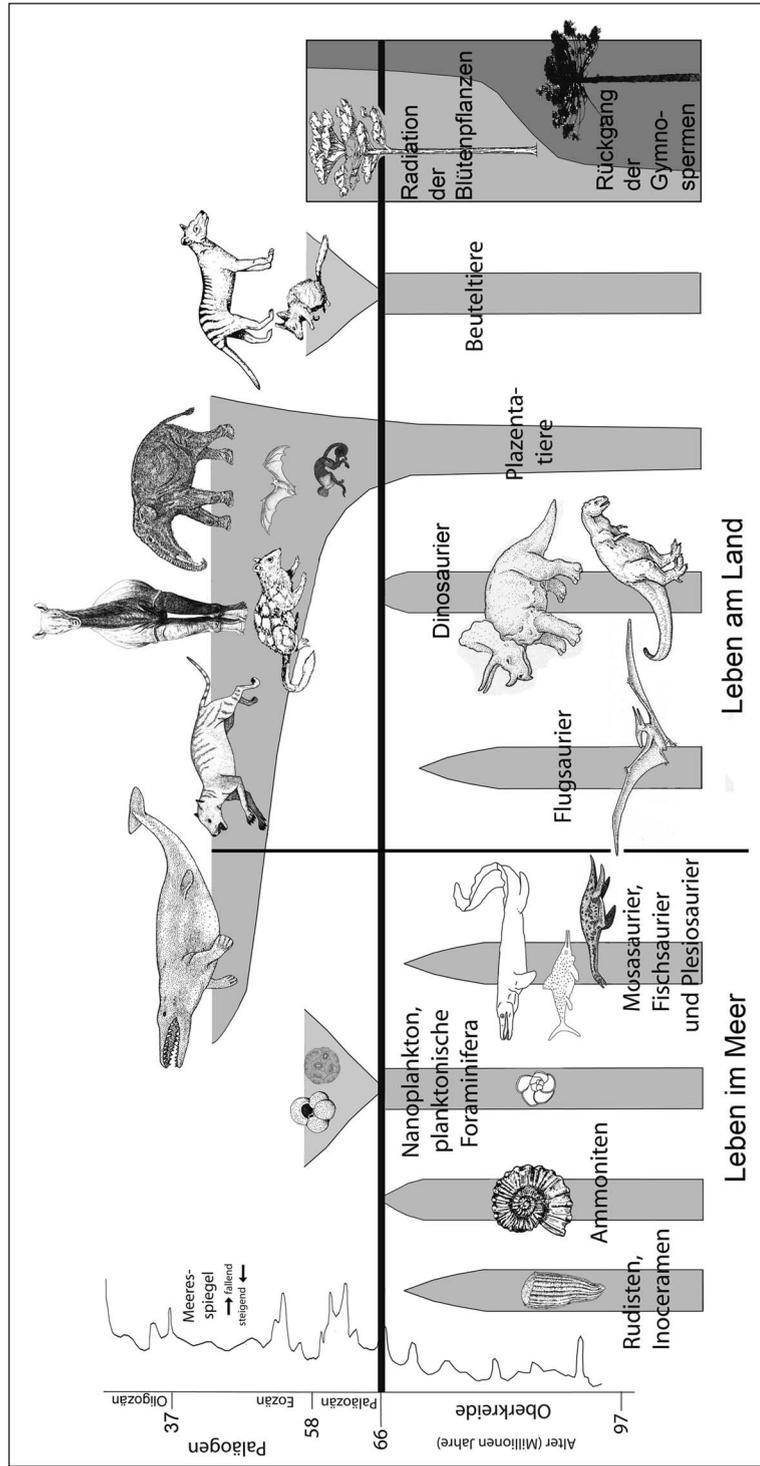


Abb. 20 Massenaussterben und Faunenwechsel an der Kreide/Tertiär-Grenze. Nicht alle betroffenen Organismen starben exakt an dieser Grenze aus. Detailuntersuchungen zeigen, daß viele Organismengruppen bereits vor der Kreide/Tertiär-Grenze rückläufig waren oder sogar ausgestorben sind (kompiliert nach verschiedenen Quellen).

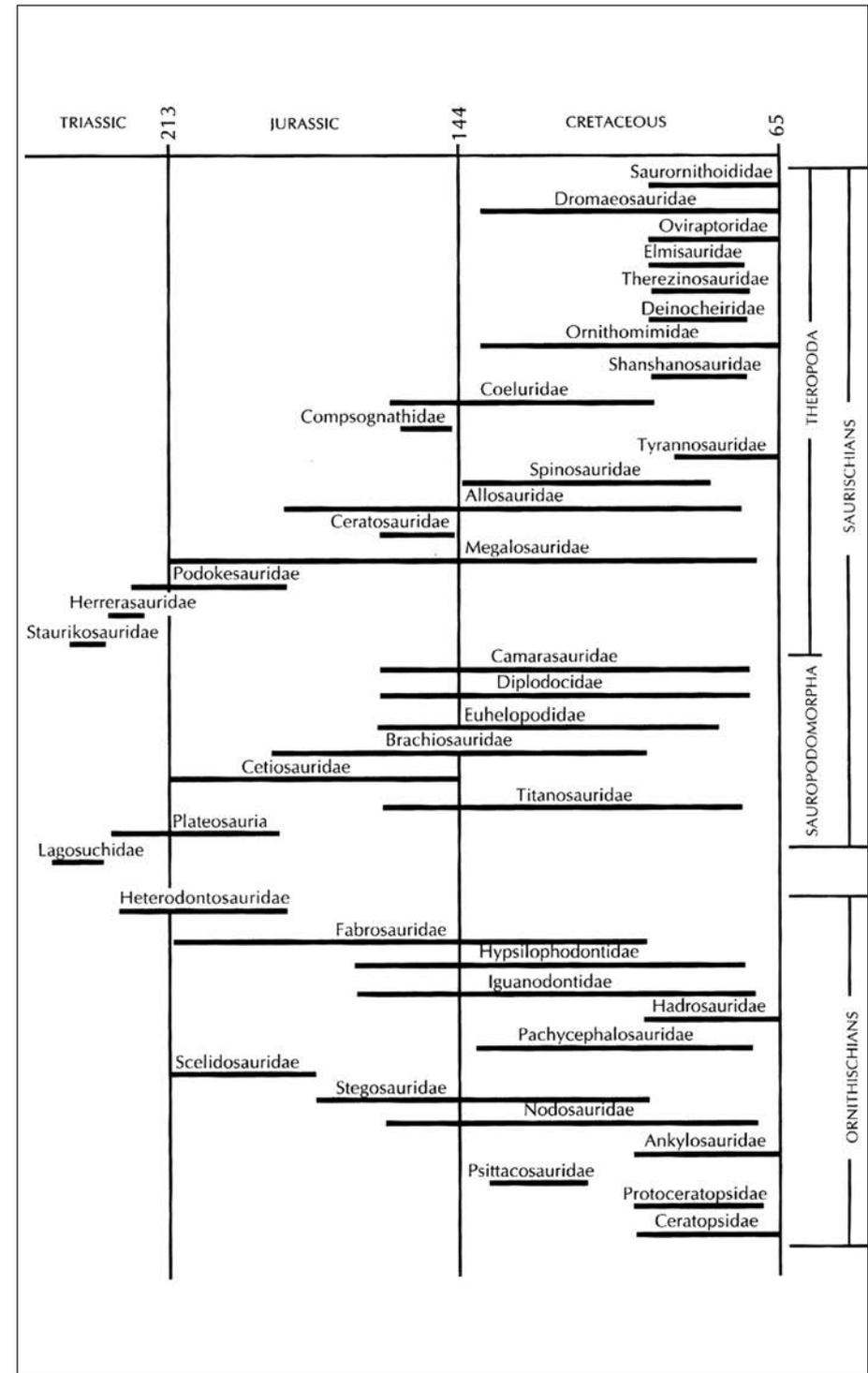


Abb. 21 Die stratigraphische Reichweite der Familien zeigt, daß die Dinosaurier in der Oberkreide ihre maximale Diversität hatten und bis kurz vor dem Aussterben sehr zahlreich vertreten waren (CARROLL 1987).

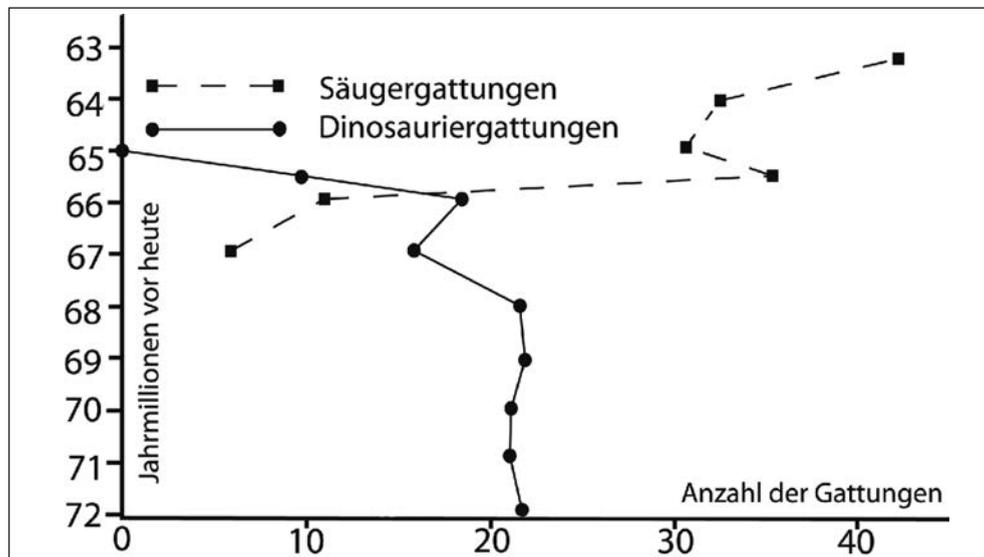


Abb. 22 Die Zahl der Dinosauriergattungen blieb bis etwa 1 Million Jahre vor dem Aussterben auf relativ hohem Niveau konstant und fiel dann rasch auf 0 ab. Im gleichen Zeitraum nahm die Anzahl der Säugetiergattungen stark zu und ging auch unmittelbar an der Kreide/Tertiär-Grenze nur wenig zurück (nach SLOAN et al. 1986 und BENTON 2002).

le andere Gruppen, z. B. die Ammoniten, verschwinden allmählich bereits im Verlauf der obersten Kreide, um an der Kreide/Tertiär-Grenze endgültig auszusterben. Eine dritte Gruppe von Organismen, z. B. bestimmte Muscheln (Rudisten und Inoceramen) sowie die Paddelchsen (Plesiosaurier), Fische (Ichthyosaurier) und Mosasaurier, starben bereits deutlich früher, mehr als eine Million Jahre vor der Kreide/Tertiär-Grenze, aus.

Die Dinosaurier gehörten zur zweiten Gruppe. SLOAN et al. (1986) und FASTOVSKY et al. (2004) zeigen, daß die Diversität der Dinosaurier noch in der späten Oberkreide sehr hoch war, höher als in den meisten Zeiten vorher. Die Anzahl der Dinosauriergattungen blieb bis etwa 1 Million Jahre vor dem Aussterben auf relativ hohem Niveau konstant, fiel dann aber rasch auf 0 ab (Abb. 21). Ein Meteoriteneinschlag als einziger Auslöser des Aussterbens ist deshalb sehr unwahrscheinlich.

Offensichtlich waren für das Massenaussterben nicht nur die kurzfristigen katastrophalen Ereignisse ausschlaggebend, sondern auch längerfristige klimatische Veränderungen und komplexe ökologische Rückkopplungen, die bislang aber nicht vollständig verstanden sind. In der Oberkreide breiteten sich die erst kurz vorher entstandenen Blütenpflanzen rasch aus und verdrängten die Koniferen und andere Gymnospermen. Für pflanzenfressende Dinosaurier bedeutete das eine dramatische Umstellung im Nahrungsangebot. Am Ende der Kreide wurde auch das Klima deutlich kühler, was ein möglicher, zusätzlicher Faktor für das Aussterben der Dinosaurier gewesen sein könnte.

Literatur

- ALVARES, L., ALVARES, W., ASARO, F., and MICHEL, H.: Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science* 208, 1095–1108 (1980)
- BENTON, M. J.: *Vertebrate Palaeontology*. Oxford u. a.: Blackwell 2002
- CARROLL, R. L.: *Vertebrate Paleontology and Evolution*. San Francisco: Freeman 1987
- CARROLL, R. L.: *Patterns and Processes of Vertebrate Evolution*. Cambridge: Cambridge University Press 1997
- CLEMENS, W. A., and NELMS, L. G.: Paleocological implications of Alaskan terrestrial vertebrate fauna in the latest Cretaceous time at high paleolatitudes. *Geology* 21, 503–506 (1993)
- COURTILLOT, V., FÉRAUD, G., MALUSKI, H., VANDAMME, D., MOREAU, M. G., and BESSE, J.: Deccan flood basalts and the Cretaceous/Tertiary boundary. *Nature* 333, 843–846 (1988)
- FASTOVSKY, D. E., HUANG, Y., HSU, J., MARTIN-MCNAUGHTON, J., SHEEHAN, P. M., and WEISHAMPEL, D. B.: Shape of mesozoic dinosaur richness. *Geology* 32, 887–880 (2004)
- FASTOVSKY, D. E., and WEISHAMPEL, D. B.: *The Evolution and Extinction of Dinosaurs*. Cambridge u. a.: Cambridge University Press 2005
- HILDEBRAND, A. R.: Chicxulub-crater: a possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatan Peninsula, Mexico. *Geology* 19, 867–871 (1991)
- HOBSON, J. A.: The evolution of cranial display structures in hadrosaurian dinosaurs. *Paleobiology* 1, 21–43 (1975)
- NORMAN, D. B., and WEISHAMPEL, D. B.: Ornithomimid feeding mechanism: their bearing on the evolution of herbivory. *American Naturalist* 126, 151–164 (1985)
- OFFICER, C. B., and DRAKE, C. L.: The Cretaceous-Tertiary transition. *Science* 219, 1383–1390 (1983)
- OLSEN, P. E., KENT, D. V., SUES, H.-D., KOEBERL, C., HUBER, H., MONTANARI, A., RAINFORTH, E. C., FOWELL, S. J., SZAJNA, M. J., and HARTLINE, B. W.: Ascend of dinosaurs linked to an iridium anomaly at the Triassic-Jurassic boundary. *Science* 296, 1305–1307 (2002)
- PÁLFY, J.: *Katastrophen der Erdgeschichte*. Stuttgart: Schweizerbart 2005
- PETERS, D. S.: Probleme der frühen Vogelevolution I. Die Sache mit den Federn. *Natur und Museum* 131, 387–401 (2001)
- PISANI, D., YATES, A. M., LANGER, M. C., and BENTON, M. J.: A genus-level supertree of the dinosauria. *Proc. Roy. Soc. London B* 269, 915–921 (2002)
- PLUM, R. O.: The evolutionary origin and diversification of feathers. *Quart. Rev. Biol.* 77, 261–295 (2002)
- PLUM, R. O., und BRUSH, A. H.: Zuerst kam die Feder. *Spektrum der Wissenschaft* Okt. 2003, 32–41 (2003)
- REES, P. M., NOTO, C. R., PARRISH, J. M., and PARRISH, J. T.: Late Jurassic climates, vegetation, and dinosaur distribution. *J. Geol.* 112, 643–653 (2004)
- SERRENO, P. C.: The evolution of dinosaurs. *Science* 284, 2137–2147 (1999)
- SLOAN, R. E., RIGBY, J. R., VAN VALEN, L. M., and GABRIEL, D.: Gradual dinosaur extinction and simultaneous ungulate radiation in the Hell Creek formation. *Science* 232, 629–633 (1986)
- SMIT, J., and HERTOGEN, J.: An extraterrestrial event at the Cretaceous-Tertiary boundary. *Nature* 285, 198–200 (1980)
- WELLNHOFER, P.: Der bayerische Urvogel, *Archaeopteryx bavarica*. *AvH-Mitteilungen* 75, 3–10, Bonn (2000)

Prof. Dr. Wolfgang OSCHMANN
 Johann-Wolfgang-Goethe-Universität
 Institut für Geowissenschaften
 Postfach 11 19 32
 60054 Frankfurt/Main
 Bundesrepublik Deutschland
 Tel.: +49 69 79822687
 Fax: +49 69 79822958
 E-Mail: oschmann@em.uni-frankfurt.de

Patterns of Innovation in Human Evolution

Ian TATTERSALL (New York)

With 2 Figures



Abstract

Close examination of the human fossil and archaeological records reveals that the received image of slow burnishing by natural selection over the eons presents an erroneous vision of the pattern of events in human evolution. Instead, the human story has largely been one of highly sporadic innovation. The appearance of important behavioral and physical novelties has been unsynchronized and relatively rare, and long periods of stasis have intervened. In terms of overall phylogenetic pattern, the fossil record clearly shows that the history of the hominid family was comparable to that of all other successful and widespread groups of mammals, with a clear signal of diversification. Far from being linear, hominid evolution was an eventful story of evolutionary experimentation, with constant speciations and extinctions. It is, so it seems, an unusual and perhaps unprecedented thing for *Homo sapiens* to be the lone hominid in the world: something that speaks volumes about the very unusual nature of our species. In the realm of cognition, despite the rapid increase in average brain sizes over the Pleistocene, the most important development was relatively recent, and apparently abrupt. For evidence of symbolic behaviors, and thus presumptively of symbolic thought, enters the record rather late, initially appearing in Africa after about 100 kyr ago and finding its first full recorded expression only subsequent to 40 kyr ago in Europe. Significantly, the earliest evidence of modern intellectual capacities substantially postdates the emergence of the distinctive modern human anatomy, suggesting that our extraordinary symbolic capacities arose in the context of *exaptation*, rather than of *adaptation*. Our vaunted human intellectual capacities thus appear to be the result of an accidental coincidence of acquisitions, rather than the culmination of a long-term process of improvement by natural selection. This suggests that, evolutionary psychology to the contrary, human beings are not behaviorally fine-tuned for anything.

Zusammenfassung

Genauere Untersuchungen fossiler und archäologischer Humanfunde lassen erkennen, daß die tradierte Auffassung der allmählichen Entwicklung durch natürliche Auslese über die Jahrtausende ein falsches Bild von der Abfolge der Ereignisse in der Evolution des Menschen gibt. In Wirklichkeit stellt sich die Entwicklung des Menschen als eine höchst seltene Innovation dar. Das Auftreten wichtiger Neuerungen in Verhaltensweise und Physis des Menschen erfolgte ohne zeitliche Koordination und relativ selten. Dazwischen lagen ausgedehnte Phasen ohne erkennbare Weiterentwicklung. Im Rahmen des phylogenetischen Gesamtbildes belegt der Fossilbericht eindeutig, daß die Entwicklung der Familie der Hominiden ähnlich wie bei allen anderen erfolgreichen und weit verbreiteten Gruppen von Säugern verlief, wobei klare Anzeichen für Diversifizierung vorliegen. Die Entwicklung der Hominiden verlief alles andere als geradlinig, sie war eine ereignisreiche Geschichte evolutionären Experimentierens, mit dem ständigen Entstehen neuer und dem Verschwinden bestehender Arten. Offenbar ist, so scheint es, die Existenz von *Homo sapiens* als weltweit einzigem Hominiden ein ungewöhnliches und vermutlich beispielloses Ereignis: etwas, das Bände über die höchst ungewöhnliche Natur unserer Art spricht. Im Bereich der Kognition ist trotz der raschen Erhöhung der durchschnittlichen Größe des Gehirns im Pleistozän die wichtigste Entwicklung relativ jung und offenbar sehr plötzlich eingetreten. Denn Belege für symbolisches Verhalten und damit wahrscheinlich symbolisches Denken treten relativ spät auf, erstmalig in Afrika vor etwa 100 000 Jahren, und finden ihre volle Ausprägung erst in Europa vor etwa 40 000 Jahren. Bezeichnenderweise datieren die frühesten Belege für moderne intellektuelle Leistungen sehr viel später als die Herausbildung der typischen Anatomie des modernen Menschen, was darauf schließen läßt, daß unsere außergewöhnliche abstrakte Leistungsfähigkeit im Kontext der *Exaptation*, nicht der *Adaptation* zu sehen ist. Damit sind die so viel gepriesenen geistigen Fähigkeiten des Menschen eher das Ergebnis eines zufälligen Zusammentreffens von Erworbenem und nicht die Kulmination eines Langzeitprozesses der Verbesserung der natürlichen Auslese. Damit liegt der Schluß nahe, daß entgegen der Auffassung der Evolutionspsychologie, Menschen unter Verhaltensaspekten nicht für bestimmte Dinge besonders geeignet sind.

1. Introduction

At the turn of the millennium the paleoanthropological mindset still seems to be largely under the spell of the seductive simplicities of the Evolutionary Synthesis, the mid-twentieth-century movement that finally brought together systematists, paleontologists and geneticists in a unified view of the evolutionary process (see MAYR 1982, ELDREDGE 1985). An essentially reductionist construct, in its “hardened” manifestations the Synthesis sees the evolutionary process as little more than the gradual modification of gene pools, over vast spans of time, under the guiding hand of natural selection. In this view, macroevolution is simply microevolution writ large. And it has, I think, been particularly attractive to paleoanthropologists because of the perfectly accurate perception that average hominid brain sizes have increased remarkably over the two million years since the Pleistocene epoch began, and fairly well in step with time (TATTERSALL 1995). *Homo sapiens* is a species that seems to be mesmerized by its own remarkably large brain and, when considering this feature alone, it is easy to envision human evolution as a linear process of which we are the present culmination. However, as the hominid fossil record has enlarged dramatically over the past several decades, and the number of species known and generally acknowledged in the hominid fossil record has spiraled upwards (as witnessed by the tentative phylogeny in Fig. 1, in which the number of taxa recognized, while not minimalist, is relatively restrained), it is becoming ever clearer that the history of the hominid family has in contrast been one of continual evolutionary experimentation, with multiple speciations and extinctions, rather than one that fundamentally involved the burnishing of a single central lineage, with a small number of failed offshoots. Clearly, brain size increase in the history of “hominization” involved the preferential survival of large-brained species, rather than a simple, steady within-lineage brain size increase.

If this is the case, and human evolution did indeed consist of more than an inexorable accretion in brains and intelligence driven by natural selection, then it becomes necessary to step back and inquire just what the actual pattern of human evolution was. And to do that we have to turn to our fossil and archaeological records.

2. In the Beginning

To the best of current knowledge, the hominid and great ape lineages parted company in the late Miocene epoch, some 7–8 million years (myr) ago (DELSON et al. 2000), probably in the context of climatic drying and increasing seasonality that converted some areas of closed forest into woodland and, as time progressed, grasslands (VRBA 1985, 1988). In the period between about 7 myr and 4 myr ago the hominid record is very scanty, and the situation is additionally confused by the fact that paleoanthropologists are very hazy on the matter of what very early hominids *ought* to look like (SCHWARTZ and TATTERSALL 2005). Nonetheless, with at least three generally accepted genera of hominids known in that time period (Fig. 1) it is clear that even the earliest hominids were a diverse group, engaged in active exploration of the many ways that evidently existed to be a hominid. In other words, the hominid family tree appears to have been bushy from the very start, setting a pattern of multiple coexisting hominid species that seems to have remained standard throughout human evolution, until very recently indeed. As varied as they were morphologically, however, what these early hominid species seem to have had in common was that all were, presumptively at least, upright bipeds (see KINGDON 2003).

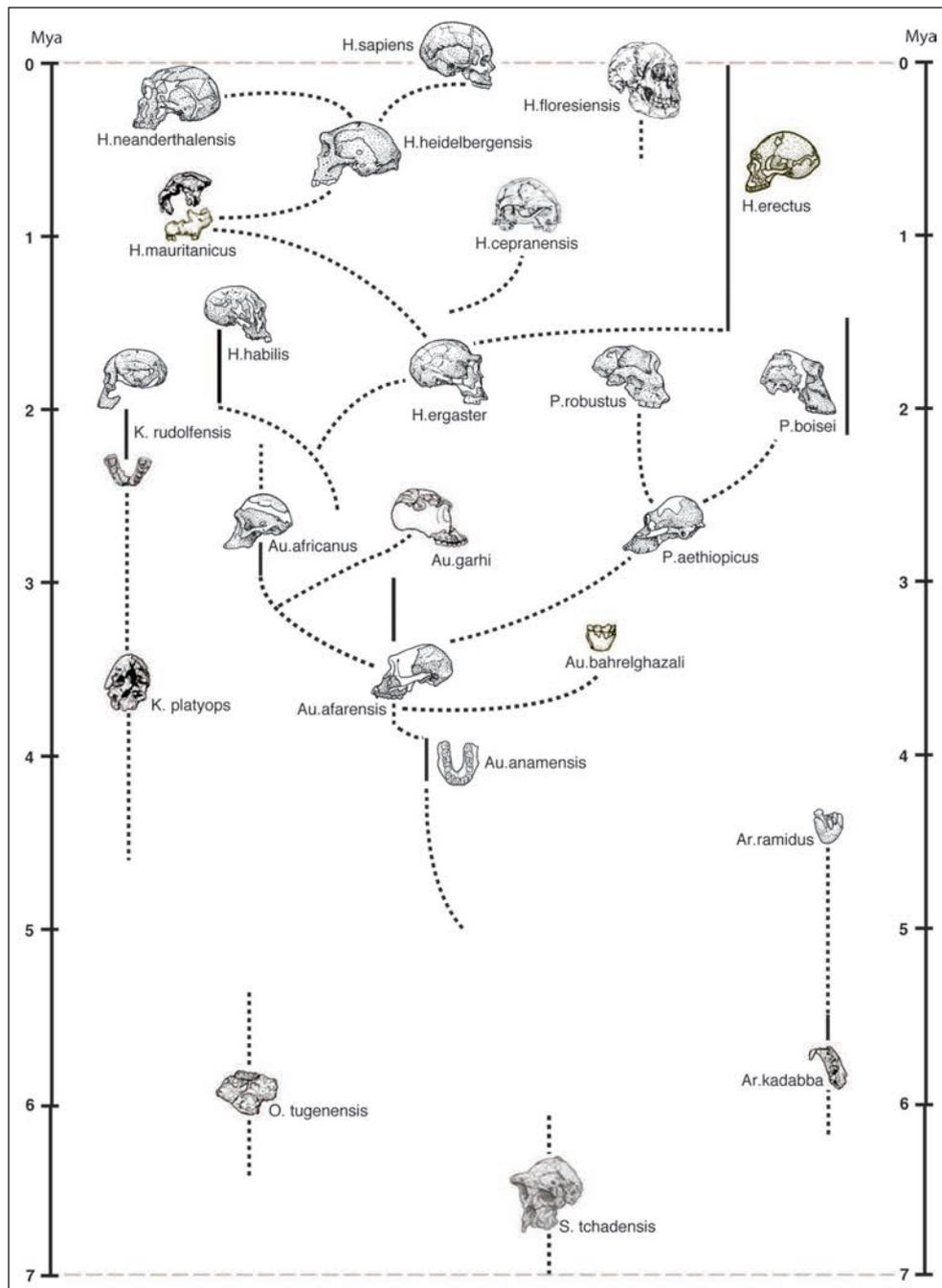


Fig. 1 One possible scheme of relationships (of many) among species assigned to Hominidae, showing the tendency to multiple branchings throughout the history of the family. It is evidently a highly unusual situation for *Homo sapiens* to be the lone hominid extant. © Ian TATTERSALL.

By around 4 myr ago, it seems that a fairly standard hominid body form had become established. Between about 4 and 2 myr ago, hominids appear universally to have been short-statured, with relatively long arms and short legs, and somewhat long and curved extremities. The wide, flaring pelvis, however, betrayed an upright bipedal form of locomotion, as did the structure of the knee joint (DELOISON 2004). In terms of evolutionary pattern, it is important to bear in mind that, although the early hominids retained a large number of features in their skeletons that reflected an arboreal ancestry and would have been highly useful to them in the trees on which they were probably still largely dependent for both food and shelter, this was in no way a “transitional” or “intermediate” adaptation on the way from a tree-living to a fully terrestrial lifestyle. Instead, it was a remarkably successful and stable body structure that remained constant in its essentials even as new hominid species came and went. And this set a pattern for later innovations in the hominid lineage. The advantages of upright bipedal terrestrial locomotion have been much debated (see discussion in KINGDON 2003). But the essential point to grasp is this: once you have stood upright, you possess *all* of the potential advantages (and disadvantages) of bipedalism, whether they come in terms of locomotor efficiency, or greater visual range, or more efficient thermoregulation, or freeing the hands for carrying objects, or any of the other advantages that have been proposed. It is standing up in the first place that is important, and the most parsimonious explanation for this unusual solution to spending more time on the ground is that the arboreal ancestor of the hominids already favored an upright body posture in the trees (TATTERSALL 2003).

3. The First Tool Makers

Bipedalism was undoubtedly an epochal acquisition in the hominid lineage, and one that opened the way for all subsequent innovations among our predecessors. Nonetheless, it is not at all clear that it directly involved any cognitive sequelae. Hominids in this early period retained small brains (at the upper end of the modern ape range, about a third the size of our own) and large ape-like faces and teeth (with the exception of reduced canines), and there is no compelling reason to suspect any cognitive advance over what is typical of today’s apes; indeed, it is becoming increasingly common among paleoanthropologists to refer to these early hominids as “bipedal apes” (AIELLO and DEAN 1990). Yet it is among hominids of this archaic kind that the first stone tool makers emerged. For the earliest stone tools so far known come from sites in Kenya and Ethiopia that are dated to around 2.5 myr ago; and although a fair diversity of hominids is known from this time, none of them demonstrably possessed a brain significantly larger than those of its predecessors. This observation introduces a theme that is subsequently played over and over again in human evolution: new kinds of hominids cannot be associated with new kinds of behavior. Throughout human prehistory, it turns out to be impossible to “explain” new artifacts or behaviors by the appearance of a new kind of hominid. And this, of course, makes a good deal of sense: for any new tool or behavior has to be invented by an individual, and that individual can hardly differ significantly from his or her own parents who lacked the innovation concerned. What’s more, the potential to do something new and unprecedented quite obviously has to be there *before* the innovation itself, and it will be critical to bear this in mind when we consider the emergence of those qualities that make our own species truly different from anything else Nature has produced.

The early stone tools themselves were crude, but remarkably effective (SCHICK and TOTH 1993). For the most part they were tiny sharp flakes knocked off fist-sized river cobbles by a blow from a similarly-sized “hammer” stone: hardly very impressive to look at, but experimental archaeologists have managed to butcher entire elephant carcasses using them. Most early archaeological sites consist of places on the landscape where early hominids had butchered the carcasses of medium- and even large-sized mammals that they had probably not hunted themselves – although chimpanzees today do actively hunt small mammals, and it is quite likely that the early hominids may have done so too. And the tools would have made a profound difference to the lives of their makers, since they would have allowed early scavengers to detach meaty limbs from large carnivore kills and retire with them to safer places for consumption. Hammer stones were also used to pound the long bones of large animals to extract the nutritious marrow. Perhaps most significantly of all, the making of the tools themselves shows a degree of insight into the nature of materials that is denied to today’s apes, for even with extensive coaching no living ape has learned how to hit one stone with another at the precise angle needed to detach a sharp flake. And beyond this, the early stone tool makers showed considerable foresight and a capacity for planning: only certain types of stone are suitable as raw materials for tools, and the hominids carried lumps of suitable stone with them for long distances before making them into tools as required.

Here at last we have strong inferential evidence for a considerable cognitive leap among our early predecessors, who nonetheless remained physically archaic. This advance had evidently taken early bipeds well beyond the cognitive confines of any primates alive today (TOTH et. al. 1993); but for lack of evidence we know little else about how it may have affected the broader lives of the tool makers, or how it may have reflected changes in the ways in which they perceived the world around them.

4. The Earliest Hominids of Modern Body Form

Once again, though, it would be a long time – in this case, a million years – before another significant technological innovation was made, again setting a pattern whereby major advances would tend to be followed by long periods of essential stasis. Meanwhile, once again out of phase with technological advance, a profound biological reorganization had intervened in hominid history. Shortly following 2 myr ago, a new kind of hominid appeared, most dramatically exemplified by a miraculously-preserved 1.6 myr-old skeleton discovered in the 1980s to the west of Lake Turkana, in northern Kenya (WALKER and LEAKEY 1993). Often assigned to the species *Homo ergaster*, the “Turkana Boy” is the largely complete skeleton of a young individual who was 164 cm tall when he died at the age of 8 years, and who would have topped 187 cm had he lived to maturity. Not only was he tall and had body proportions essentially equivalent to our own, but he was slenderly-built, rather as are the people who live in the same sun-drenched area today. Here at last was a creature who was completely at home out in the savanna, far from the shelter of the forest. Up to this point hominids had apparently been largely confined to the forest edges and expanding woodlands of Africa; but now the bond to the trees had been broken, hominids were apparently free to indulge their wonderlust. Indeed, by 1.8 myr ago hominids had already expanded their range out of the continent of their birth, as shown by the presence of hominids of this age at Dmanisi in the Caucasus (GABOUNIA et. al. 2002), and perhaps as far away as Java as well (SWISHER et. al. 1994).

Yet the Turkana Boy and the Dmanisi hominids were still using simple stone tools of the kind their predecessors had been making a million years earlier; and their brains remained quite small as well: at about half the modern size the Turkana Boy’s brain was larger than typical of the bipedal apes, but some of the Dmanisi individuals retained diminutive brain cavities. And this argues for the conclusion that it was modern striding body form alone, rather than increased intelligence or better technology, that had allowed hominids to expand beyond Africa. Still, it was in Africa that the next technological leap originated. At about 1.5 myr ago we begin to find in African sites a new kind of implement, the “Acheulean” handaxe, that represented a revolutionary approach to stone tool making. The early tool makers had simply been concerned with producing an attribute – a sharp cutting edge – in their tools. It had not been important what those tools had looked like. The handaxe, in contrast, was carefully and consciously shaped by multiple blows to both sides to produce a tool with a particular shape, typically that of a teardrop. At last, tool makers were making implements to a “mental template” that was evidently held in their heads before tool making started (SCHICK and TOTH 1993): cognitively yet another huge advance, although again for want of evidence we cannot be sure how this leap affected or reflected their lives and their perceptions of the world around them. Still, it is virtually certain that they had not acquired many, if any, of the attributes that we would instinctively regard as “human” from our modern perspective. It is highly unlikely, for example, that these hominids, though undoubtedly vocal, possessed articulate language in anything like the form in which we know it.

5. Technological Advancement

Once again, though, following the technological advance that the Acheulean certainly represented, it was a very long time before anything radically new appeared; and this in turn was a considerable length of time after a new kind of hominid had come on the scene, first in Africa. This new hominid, *Homo heidelbergensis*, had a brain that was within the modern size range, although still far below the modern average, and it is first known some 600 thousand years (kyr) ago at the Ethiopian site of Bodo where, instructively, the associated stone tools are of the ancient pre-Acheulean kind (CLARK et al. 1994). In Europe, too, the first *Homo heidelbergensis* made and used only crude stone tools, though in the period encompassing 400 kyr ago some extraordinary discoveries emphasize that the stone tool record, which for reasons of preservation is what we mainly have, is only a very pale reflection of overall material culture, let alone of broader lifeways. The 400 kyr-old site of Terra Amata, in southern France, has yielded the remains of the first artificially constructed shelters, large oval huts made of saplings implanted in the ground and reinforced with rocks along the periphery, then brought together at the top (DE LUMLEY 1969). Within the huts the remains of hearths can be discerned: shallow pits scooped in the ground and lined with stones. Both the stones and associated animal bones are burned, proving that these were indeed fireplaces, and this discovery, in association with similar findings at the 350 kyr-old German site of Bilzingsleben (MANIA 1976), inaugurate the period of hominid history in which the domestication of fire became routine. To the 400 kyr period, too, are dated the miraculously preserved wooden spears of the northern German site of Schoeningen (THIEME 1997). Wood rarely preserves, so the record of wooden implements is almost nonexistent; but these finely-shaped spears have been claimed by their discoverers to be demonstrably designed for throwing, rather than for up-close thrusting,

and if this is true – the claim has been contested – hunting techniques of this period were considerably more sophisticated than one would have guessed from the stone tool record alone. In any event, on the basis of these European discoveries we can infer that by 400 kyr ago hominids were operating with a more sophisticated cognitive apparatus than their predecessors had done, though once again it is difficult for us to judge exactly how they perceived and interacted with the world around them. It is probably significant, however, that *Homo heidelbergensis* left behind nothing that can unequivocally be interpreted as a symbolic object.

As for the lithic record itself, we have to wait until around 300–200 kyr ago before we encounter another significant innovation. This was the “prepared-core” tool, whereby a stone “core” was elaborately worked until a single blow would detach an effectively finished tool. Again, we are seeing an increased level of insight into the properties of materials, but what this implies about its possessors’ subjective experience of the world they lived in we simply do not know. Clearly, the relationship of hominids to the world around them was becoming more subtle and complex throughout this period, but especially given that we are incapable of fully understanding any cognitive state other than our own it is difficult to specify just what this relationship was.

6. The Neanderthals

Probably the most sophisticated practitioners of prepared-core tool making were the Neanderthals, *Homo neanderthalensis*. These are the best-known of all extinct hominids, had brains fully as large as our own, and flourished in Europe and western Asia from about 200 to 30 kyr ago as the most successful species of an endemic European radiation that split with its African relatives at some time between about 1.0 and 0.5 myr ago (TATTERSALL and SCHWARTZ 2006). Large as the Neanderthals’ brains were, though, they were housed in a skull that was very different from our own, and that sat atop a body that was equally distinctive (Fig. 2). In the present context the major interest of the Neanderthals is that they are incomparably better-known than any other extinct hominid species; and this, together with the fact of their large brains and the copiousness of the behavioral record they left behind, makes them incomparably the best yardstick we have for measuring the uniqueness, cognitive as well as anatomical, of our own species *Homo sapiens*. They can also provide us with a direct measure of their and our relative merits as competitors on the ecological stage, for they were resident in Europe when the first *Homo sapiens* invaded, ultimately from Africa, at about 40 kyr ago. Significantly, they became extinct within the ten thousand years or so that followed.

The ultimate origin of the invaders, known as Cro-Magnons, lay in Africa, at some time in the period following about 200 kyr ago; but although this origin is by now well established by molecular biological studies (PÄÄBO 1999), and is strongly supported by archaeological evidence, the relevant fossil record remains rather sketchy. It is well known that biological novelties are only likely to become fixed in very small populations, and it seems plausible that the anatomically distinctive *Homo sapiens* was born out of an episode of climatic stress during which the ancestral human population in Africa was reduced to very small numbers, perhaps in the low thousands. This episode has been most firmly inferred on the basis of comparative studies of modern human mitochondrial and Y-chromosome DNA (OLSON 2002, WELLS 2003), which are substantially less variable among modern humans than, for example, among the far less numerous and more geographically restricted modern chimpanzees. What



Fig. 2 Comparison of a composite Neanderthal skeleton (left) with that of a *Homo sapiens* of similar stature (approximately 167 cm). Note the multiple differences throughout the skeleton and particularly in the proportions of the rib cage and pelvis. Courtesy of Ken MOWBRAY.

is more, human mtDNA variation is greatest today in the African continent, suggesting that diversification has been continuing there longer than elsewhere in the world. Indeed, mtDNA lineages from other continents appear to be descended from lineages that originated in Africa, in which the fossil record such as it is also hints that human origins lie.

The contrast between the lives of the Neanderthals and the Cro-Magnons could hardly be more dramatic. Although the Neanderthals made beautiful stone tools, practiced the simple burial of the dead at least occasionally, protected disadvantaged members of their society, and managed to survive in very harsh environmental conditions, their lives (at least before contact with the Cro-Magnons) were apparently bereft of symbolic activities (KLEIN 1999). On the other hand, the Cro-Magnons established themselves in Europe with the full panoply of modern behaviors at their disposal (WHITE 1986), making implements out of soft materials such as bone and antler as well as out of stone. Well over 30 kyr ago they were already painting powerful animal images and abstract signs on the walls of caves. They made notations (perhaps including lunar calendars), as well as delicate engravings on bone and stone plaques; and some of the most elegant carvings ever made date from this time. The Cro-Magnons made music on bone flutes with subtle sound capabilities, and doubtless sang and danced as well. They soon began to bury their dead, or at least those of high status, in elaborately decorated clothing, and with a plethora of grave goods. By soon after 30 kyr ago, eyed bone needles announce the arrival of carefully tailored clothing (although before this all European hominids, Neanderthals included, would have had to have possessed some form of clothing to withstand the rigorous Ice Age climates), and at the same time ceramic technology was invented, clay figurines being baked in simple but highly effective kilns. The list could go on and on, but it should already be evident that the Cro-Magnons were *us*, not only in their anatomy but in all their behavioral complexities as well. Almost certainly, though, the same cannot be said for the Neanderthals, who could best be described as an improved version of their forebears. Admirable as they evidently were, the Neanderthals left virtually nothing behind them to suggest that they possessed symbolic reasoning abilities, or articulate language.

7. The Appearance of Modern Human Cognition

Interestingly, the same was also apparently true of the earliest anatomically modern *Homo sapiens*. The earliest possible representatives of the anatomical entity we know today come from sites in Ethiopia dated to 160 and 195 kyr (WHITE et. al. 2003, McDOUGALL et. al. 2005). And the younger site yielded stone tools of Acheulean type. Similarly, the earliest *Homo sapiens* known from outside Africa, some 100 kyr old and from the cave of Qafzeh in Israel, are associated with a stone tool assemblage that is indistinguishable from those that were being made by Neanderthals at the same time (KLEIN 1999). In contrast to the situation in Europe, where the Neanderthals rapidly disappeared following the arrival of the Cro-Magnons, *Homo sapiens* and *Homo neanderthalensis* somehow contrived to coexist on, or maybe to time-share, the Israeli landscape for upwards of 50,000 years, the Neanderthals only finally becoming extinct perhaps some 40 kyr ago, after local *Homo sapiens* had developed a tool kit that was equivalent to the one the Cro-Magnons brought with them into Europe.

Modern human anatomy, as judged from skeletal structure, thus appeared substantially before modern human behavior did. Which is hardly surprising in view of the fact, already noted, that innovations can only arise *within* species (for where else?). In evolution form has to

precede function, if only because without form there can be no function; and the acquisition of novelties cannot be driven by natural selection, which can only favor new structures after the fact. There is a strong argument to be made for the claim that *any* novelty has to arise initially as an *exaptation*, a structure existing independently of any new function for which it might later be co-opted. Birds, to take perhaps the most famous example, for many millions of years used feathers for insulation before they became indispensable adjuncts to flight. Only once a structure has had been established can it assume a new role and thus become an *adaptation* to that function. It cannot be doubted that modern human symbolic cognition has a neural basis, one that was apparently absent (or, just conceivably, undiscovered) in earlier hominids. And it appears reasonable to postulate that any new neural wiring was most likely acquired during the considerable biological reorganization involved in the appearance of the highly distinctive modern skeletal anatomy. If so, this new potential evidently lay fallow for some considerable period of time until it was “released” by some behavioral mechanism.

What, then, might this mechanism have been? The most plausible candidate is the invention of language, for language is almost synonymous with the symbolic reasoning that marks us off from even our closest relatives in nature – and the associated ability to produce speech had certainly been present at least from the origin of the modern human anatomy. Language involves forming intangible symbols in the mind, and it allows us to combine those symbols in new ways, allowing us to pose the “what if” questions that allow us to relate to the world around us in a new and unprecedented manner. It is this leap to symbolic manipulation in the mind that most truly marks us off from other forms of life on Earth; and the ability to do this is evidently something that arose rather abruptly, as a byproduct of something else, rather than through a process of gradual fine-tuning over the generations. Our intelligence is an *emergent* quality, the result of a chance combination of factors, rather than a product of Nature’s patient and gradual engineering over the eons. Of course, the earlier trend to increasing brain sizes among earlier hominids provided the essential conditions on which this final leap to symbolic reasoning was based: it could not have happened without the sum total of hominid history behind it. But this unprecedented development was not an inevitable or predictable outcome of the trends that preceded it. The upshot is that, for all its remarkable qualities, *Homo sapiens* as we know it today is not the outcome of a long and inexorable process of perfectionation, much as we often like to think of ourselves in that way (TATTERSALL 1998).

Where did modern human cognition emerge? Almost certainly, like modern anatomy, it arose in Africa. For it is in this continent that we find the first glimmerings of “modern” behaviors. From Blombos Cave, near the continent’s southern tip, comes the earliest claimed symbolic object, a geometrically engraved ochre plaque almost 80,000 years old (HENSILWOOD et. al. 2003). From the same site come some apparently pierced shells, putative evidence of (symbolic) body ornamentation (HENSILWOOD et. al. 2004); and there is also early documentation in Africa of such typically human economic activities as long-distance trade in valued materials, and flint-mining (MCBREARTY and BROOKS 2000). There is as yet nothing in the early African archaeological record as impressive as that left behind by the Cro-Magnons in Europe; but the Cro-Magnons existed much later in time than the Blombos people, and there is in any event no reason to expect that the multifarious dimensions of the human capacity should have been discovered all at once. Indeed, this long and elaborate process of discovery of our potential, a process that may have begun in Africa by around 100–80 kyr ago, is one that is still unfolding today, as technological innovation, highly sporadic among hominids prior to the emergence of the remarkable human capacity, continues to gather speed.

Acknowledgments

I thank Professors Volker TER MEULEN and Harald ZUR HAUSEN and the members of the *Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina* for their kind invitation to participate in the symposium “Evolution und Menschwerdung.” And I am also much obliged to Professor Jutta SCHNITZER-UNGEFUG for her help with arrangements and to Dr. Michael KAASCH for overseeing the publication of this lecture.

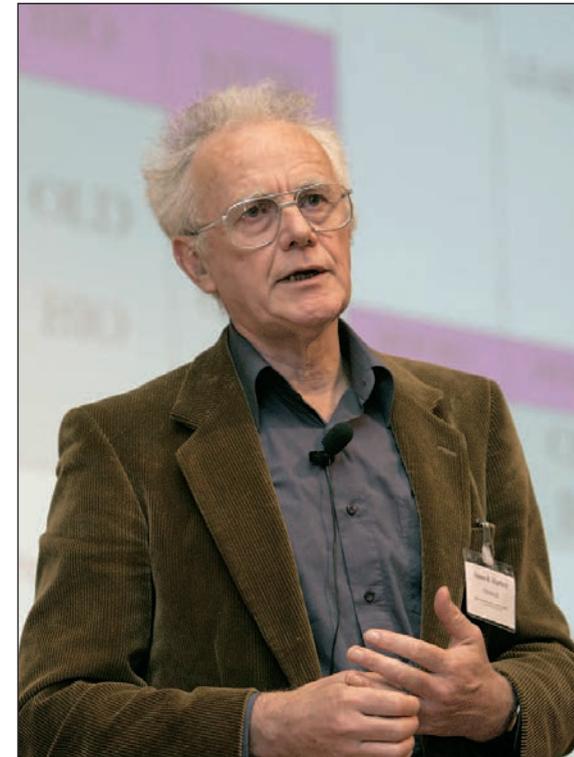
References

- AIELLO, L., and DEAN, C.: An Introduction to Human Evolutionary Anatomy. London: Academic Press 1990
- CLARK, J. D., HEINZELIN, J. DE, SCHICK, K., HART, W., WHITE, T. D., WOLDEGABRIEL, G., WALTER, R. C., SUWA, G., ASFAW, B., VRBA, E., and HAILE SELASSIE, Y.: African *Homo erectus*: Old radiometric dates and young Oldowan assemblages in the Middle Awash Valley, Ethiopia. *Science* 264, 1907–1910 (1994)
- DELOISON, Y.: Préhistoire du Piéton: Essai sur les Nouvelles Origines de l’Homme. Paris: Plon 2004
- DELSON E., TATTERSALL, I., VAN COVERING, J. A., and BROOKS, A. S.: Encycloedia of Human Evolution and Prehistory. 2nd Ed. New York: Garland Publishing 2000
- ELDRIDGE, N.: Unfinished Synthesis. New York: Columbia University Press 1985
- GABOUNIA, L., LUMLEY, M.-A. DE, VEKUA, A., LORDKIPANIDZE, D., and LUMLEY, H. DE: Découverte d’un nouvel hominidé à Dmanissi (Transcaucasie, Géorgie). *C. R. Paleovol. I*, 243–253 (2002)
- HENSHILWOOD, C., D’ERRICO, F., YATES, R., JACOBS, Z., TRIBOLO, C., DULLER, G. A., MERCIER, N., SEALY, J. C., VAL-LADAS, H., WATTS, I., and WINTLE, A. G.: Emergence of modern human behavior: Middle Stone Age engravings from South Africa. *Science* 295, 1278–1280 (2003)
- HENSHILWOOD, C., D’ERRICO, F., VANHAEREN, M., VAN NIEKERK, K., and JACOBS, Z.: Middle Stone Age shell beads from South Africa. *Science* 304, 404 (2004)
- KINGDON, J.: Lowly Origin: Where, When and Why Our Ancestors First Stood Up. Princeton, NJ: Princeton University Press 2003
- KLEIN, R.: The Human Career. 2nd ed. Chicago: Chicago University Press 1999
- LUMLEY, H. DE: A paleolithic camp at Nice. *Scient. American* 220/5, 42–50 (1969)
- MANIA, D.: Altpaläolithischer Rastplatz mit Hominidenresten aus dem Mittelpleistozänen Travertinkomplex von Bilzingsleben (DDR). IX Cong. UISPP Nice, Coll. X: 35–47 (1976)
- MAYR, E.: The Growth of Biological Thought. Cambridge, MA: Belknap Press 1982
- MCBREARTY, S., and BROOKS, A. S.: The revolution that wasn’t: A new interpretation of the origin of modern human behavior. *J. Hum. Evol.* 39, 453–563 (2000)
- MCDUGALL, I., BROWN, F. H., and FLEAGLE, J. G.: Stratigraphic placement and age of modern humans from Kibish, Ethiopia. *Nature* 433, 733–736 (2005)
- OLSON, S.: Mapping Human History. New York: Houghton Mifflin 2002
- PÄÄBO, S.: Human evolution. *Trends Cell Biol.* 9, M13–16 (1999)
- SCHICK, K., and TOTH, N.: Making Silent Stones Speak: Human Evolution and the Dawn of Technology. New York: Simon and Schuster 1993
- SCHWARTZ, J. H., and TATTERSALL, I.: The Human Fossil Record. Vol. 4. Craniodental Morphology of Early Hominids (Genera Australopithecus, Paranthropus, Orrorin) and Overview. New York: Wiley-Liss 2005
- SWISHER, C. C., RINK, W. J., ANTON, S. C., SCHWARZ, H. P., JACOB, T., GETTY, A., SUPRIJO, A., and WIDIASMORO: Age of the earliest known hominids in Java, Indonesia. *Science* 263, 1118–1121 (1994)
- TATTERSALL, I.: The Fossil Trail: How We Know What We Think We Know About Human Evolution. New York: Oxford University Press 1995
- TATTERSALL, I.: Becoming Human: Evolution and Human Uniqueness. New York: Harcourt Brace 1998
- TATTERSALL, I.: Stand and deliver. *Natural History* 112/9, 60–64 (2003)
- TATTERSALL, I., and SCHWARTZ, J.: Extinct Humans. Boulder, CO: Westview Press 2000
- TATTERSALL, I., and SCHWARTZ, J.: The distinctiveness and systematic context of *Homo neanderthalensis*. In: HARVATI, K., and HARRISON, T. (Eds.): Neanderthals: A New Perspective. Berlin: Springer Verlag 2006
- THIEME, H.: Lower palaeolithic hunting spears from Germany. *Nature* 385, 807–810 (1997)
- TOTH, N., SCHICK, K., SAVAGE-RUMBAUGH, S., SEVCIK, R. A., and RUMBAUGH, D. M.: *Pan* the toolmaker: Investigations into the stone tool making capability of a bonobo (*Pan paniscus*). *J. Archaeol. Sci.* 20, 81–97 (1993)
- VRBA, E. S.: Ecological and adaptive changes associated with early hominid evolution. In: DELSON, E. (Ed.): Ancestors: The Hard Evidence; pp. 63–71. New York: Alan R. Liss 1985
- VRBA, E. S.: Late Pliocene climatic events and hominid evolution. In: GRINE, F. E. (Ed.): The Evolutionary History of the Robust Australopithecines; pp. 405–426. New York: Aldine Publishing Company 1988
- WALKER, A., and LEAKEY, R. E. F.: The Nariokotome *Homo erectus* skeleton. Cambridge, MA: Harvard University Press 1993
- WELLS, S.: The Journey of Man: A Genetic Odyssey. Princeton, NJ: Princeton University Press 2003
- WHITE, R.: Dark Caves, Bright Visions: Life In Ice Age Europe. New York: Norton 1986
- WHITE, T. D., ASFAW, B., DEGUSTA, D., GILBERT, H., RICHARDS, G. D., SUWA, G., and HOWELL, F. C.: Pleistocene *Homo sapiens* from Middle Awash, Ethiopia. *Nature* 423, 742–747 (2003)

Prof. Dr. Ian TATTERSALL
 Division of Anthropology
 American Museum of Natural History
 Central Park West at 79th Street
 New York, NY 10024
 USA
 Phone: +1 212 7695877
 Fax: +1 212 7695334
 E-Mail: iant@amnh.org

Das Sprachmosaik und seine Evolution¹

James R. HURFORD (Edinburgh)



¹ Deutsche Übersetzung von HURFORD, H.: The language mosaic and its evolution. In: CHRISTIANSEN, M., und KIRBY, S.: Language Evolution. Oxford: Oxford University Press 2003. Mit freundlicher Genehmigung von Oxford University Press. Übersetzung von Karola KREITMAIR (Edinburgh, Schottland, Großbritannien) in einer von der Redaktion bearbeiteten Fassung.

Zusammenfassung

Die menschliche Sprachfähigkeit und die individuellen Sprachstrukturen können am besten aus evolutionärer Perspektive verstanden werden. Beide, sowohl die biologische Fähigkeit als auch die Sprachen, verdanken ihre Gestalt weit zurückliegenden Ereignissen. Die biologischen Schritte zur Sprachfertigkeit umfassen Voradaptationen für moderne Phonetik, Syntax, Semantik und Pragmatik. Sobald die Menschen sprachfähig waren, konnten sich komplexere Sprachsysteme entwickeln und durch kulturelle Weitergabe von Generation zu Generation relativ schnell ausprägen. Dieser Prozeß kann sehr gewinnbringend mit der Grammatikalisierungstheorie und der Computermodellierung untersucht werden.

Abstract

The human capacity for language and the structures of individual languages can best be understood from an evolutionary perspective. Both the biological capacity and languages owe their shape to events far back in the past. Biological steps toward language-readiness involved preadaptations for modern phonetics, syntax, semantics and pragmatics. Once humans were language-ready, ever more complex language systems could grow, relatively fast, by cultural transmission, generation after generation. This latter process is profitably studied by grammaticalization theory and computer modelling.

1. Einleitung

Es ist selbstverständlich, daß man Tatsachenfragen über die Evolution der Sprache, wie „Verwendete *Homo erectus* syntaktische Sprache?“, „Wann erschienen Relativsätze?“ und „Welche Sprachen sprachen die ersten *Homo sapiens sapiens*, die aus Afrika immigrierten?“, stellen kann. Eine Funktion der Wissenschaft ist es, das Verlangen nach Antworten auf solche Fragen zu befriedigen, die in alltäglichen Begriffen mit „Was passierte und wann?“ zusammengefaßt werden können. Solche Fragen sind eindeutig empirisch; es gibt (oder gab) einen Tatbestand. Ein zeitreisender Ermittler könnte bei den *Homo erectus* Feldforschung durchführen und die erste Frage erforschen, daraufhin in der Zeit vorwärts springen und die anderen Fragen untersuchen. Ich glaube allerdings, daß das Studium der Evolution der Sprache die Antworten zu diesen Fragen in naher Zukunft nicht ergeben wird. Deswegen kann das Beantworten solcher prinzipiell empirischer Fragen nicht der Zweck der Sprachevolutionsforschung sein. Ihr Ziel liegt eher im Erklären der Gegenwart.

Um die Phänomene der Sprache zu erklären, appelliert evolutionäre Linguistik nicht an einen Apparat von postulierten, abstrakten, für das Fachgebiet bestimmten Prinzipien. Sprache ist in die menschliche Psyche und Gesellschaft eingebettet und wird letztendlich von denselben physikalischen Gesetzen wie Galaxien und Mesonen regiert. Da wir keine Physiker oder Chemiker sind, können wir voraussetzen, was uns diese Wissenschaftler geben. In der Hierarchie der Wissenschaften, von der Physik ‚aufsteigend‘ etwa auf der Höhe der Biochemie bzw., auf paralleler Strecke, in der Mathematik und der Computertheorie, tauchen Fakten auf, die in Richtung des Ziels, Sprachen zu erklären, führen. Diese Fakten sind selbst keine linguistischen Fakten, obwohl linguistische Fakten weitläufig in ihnen verwurzelt sind. Die grundlegenden, zu erklärenden linguistischen Fakten sind folgende: Es gibt Tausende verschiedene Sprachen, die auf der Welt gesprochen werden; diese Sprachen haben extrem komplexe Struktur; und nur Menschen (abgesehen von einer winzigen Minderheit an pathologischen Fällen) können jede beliebige dieser Sprachen erlernen. Diese Fakten umfassen eine Anzahl an detaillierten Phänomenen, die auf die einzelnen Sprachen zutreffen. Solche Fakten sind natürlich die Standardzugänge der Linguistik. Jedoch hat die moderne etablierte Linguistik die vielversprechendste Erklärungsdimension ignoriert: die evolutionäre Dimension.

Linguistische Fakten reflektieren erworbene Zustände der Gehirne der Sprecher. Diese Gehirne wurden in ihrer Kindheit mit Megabytes an Informationen bombardiert, welche von der Umgebung durch verschiedene Sinneskanäle absorbiert wurden und die Neurogenese beeinflussten (jedoch nicht gänzlich bestimmten). Die gewachsenen Neuronen arbeiten auf Grund komplizierter Chemie, indem sie Informationen mit verschiedenen Geschwindigkeiten und mit verschiedener Genauigkeit senden, die das Gehirn umschwirren und in die Muskeln, einschließlich in die des Stimmtraktes, gelangen. Dies ist eine synchrone, fast zu einer Karikatur reduzierte Beschreibung dessen, was in einem extrem komplexen Organismus, einem Menschen, zu linguistischen Fakten führt, unseren wesentlichen *Explananda*. Fakten der einzelnen Sprachen sind selbst teilweise das Resultat von bestimmten historischen Eventualitäten, von denen wir nicht hoffen können, sie im Detail zu erklären. Solche Fakten zu erfassen, heißt, an der unabkömmlichen deskriptiven Front der Linguistik zu arbeiten. Die theoretischen Ziele der Linguistik müssen auf einem generelleren Level festgesetzt werden, den Umfang, die Grenzen und die statistische Verteilung der sprachspezifischen Fakten erklärend.

Ein großer Teil der Biologie, wie auch der Linguistik, ist gänzlich beschreibenden synchronen Darstellungen gewidmet, wie lebendige Organismen funktionieren. Es gab jedoch ei-

ne Zeit in der Weltgeschichte, in der es keine lebendigen Organismen gab. Die Evolutionsbiologie beabsichtigt zu erklären, wie die beobachtete Variationsbreite an komplexen Organismen entstand. Mit der Aufdeckung der DNA-Struktur begann die evolutionäre Theorie den, bislang unvollendeten, reduktionistischen Durchbruch, der ihre eigenen charakteristischen abstrakten Prinzipien auf einer soliden Basis in einer anderen Wissenschaft, der Chemie, verankerte. Jede evolutionäre Geschichte über die Entstehung komplexer Organismen muß mit dem, was wir über das Verhalten von Molekülen wissen, übereinstimmen. Die evolutionäre Geschichte muß auch mit dem Wissen von einem anderen, neuen und unabhängigen Theorienbestand, in den frühen Arbeiten von D'ARCY THOMPSON (1961) und unlängst in solchen Arbeiten von KAUFFMAN (1993, 1995) und WEST et al. (1997) dargestellt, übereinstimmen. Diese Arbeit betont, daß die Umwelt, in der die natürliche Selektion agiert, durch mathematische Prinzipien charakterisiert ist, welche das Sortiment an Attraktorzuständen, zu denen die Evolution tendiert, einschränken.

Die Evolutionsbiologen MAYNARD SMITH und SZATHMÁRY (1995) haben acht „wesentliche Übergänge der Evolution“ identifiziert. Ihr letzter Übergang ist die Erscheinung von menschlichen Gesellschaften mit Sprache. CHOMSKY hat betont, daß Sprache ein biologisches Phänomen ist. Aber die vorherrschenden zeitgenössischen Arten der Linguistik ignorieren die evolutionäre Dimension. Die gegenwärtigen Fakten der Sprache können vollständiger verstanden werden, in dem eine evolutionäre Linguistik angenommen wird, deren Gegenstand am Ende einer langen Serie von evolutionären Übergängen steht, von denen die meisten traditionell dem Bereich der Biologie angehören. Mit jedem bedeutenden Übergang in der Evolution gibt es einen Anstieg an Komplexität, so daß eine Hierarchie der Analyseebenen entsteht, die Forschungsmethoden notwendigerweise zunehmend komplizierter werden und über die bekannten biologischen Methoden hinausgehen. Evolution vor dem Erscheinen von Parasitismus und Symbiose war simpler. Die ontogenetische Plastizität, die zu Phänotypen führt, die nicht einfach aus den Genotypen vorherzusagen sind, und die ihrerseits ihre eigene Umgebung beeinflussen können, verkompliziert das Bild weiter. Das Aufkommen des sozialen Verhaltens erfordert sogar noch komplexere Methoden der Analyse, von denen manche für mathematisches Modellieren aufgrund der hochgradig nichtlinearen Beschaffenheit der fortgeschrittenen biosozialen Systeme unzugänglich sind. Durch die Plastizität (besonders das Lernen) und das fortgeschrittene Sozialverhalten kommt es zur Möglichkeit von Kultur, zu einem neuen Kanal des Informationstransfers zwischen den Generationen. Kulturelle Evolution, durch das Lernen übertragen, hat eine andere Dynamik als die biologische Evolution; außerdem können sich, um die Sache noch komplexer zu machen, biologische und kulturelle Evolution in einer koevolutionären Spirale ineinander verflechten.

Der Schlüssel zur Erklärung der gegenwärtigen komplizierten Phänomene der menschlichen Sprache liegt im Verstehen, wie sie sich aus weniger komplizierten Phänomenen entwickeln haben können. Die Tatsache, daß menschliche Sprache am Ende (bis jetzt!) eines langen evolutionären Ablaufes steht, stellt natürlich eine methodologische Herausforderung dar. Dennoch ist es möglich, Komponenten aus dem komplexen Ganzen auszugliedern und anzufangen, diese in einer systematischen Weise mit den gegenwärtigen psychologischen und sozialen Korrelaten der Sprache und dem, was wir über ihre evolutionäre Vergangenheit schließen können, in Verbindung zu bringen. Moderne Sprachen werden von evolvierten Gehirnen gelernt, gespeichert und online verarbeitet, erhalten Stimme von evolvierten Stimmtrakten in evolvierten sozialen Gruppen. Wir können anfangen zu verstehen, wie Sprachen und die menschliche Fähigkeit für Sprachen entstanden ist, indem wir die materiellen (anatomischen,

neuralen, biochemischen) Grundlagen der Menschensprache, verwandte Phänomene in weniger evolvierten Wesen sowie die Dynamik der Populationen und die kulturelle Übermittlung studieren.

Eine grundlegende Dichotomie in der Evolution der Sprache zeigt sich zwischen der biologischen Evolution der Sprachfähigkeit einerseits und andererseits der historischen Evolution der individuellen Sprachen, die durch kulturelle Übertragung (Lernen) vermittelt wird. Im nächsten Abschnitt skizziere ich die relevanten Schritte in der biologischen Evolution der Menschen in Richtung heutiger voller linguistischer Kapazität.

2. Biologische Schritte zur Sprachbereitschaft: Voradaptationen

In diesem Abschnitt betrachte ich einige der kognitiven Voradaptationen, die den Weg zu der beeindruckenden Sprachfähigkeit der Menschen bahnten. Während diese Voradaptationen nicht völlig zu erklären vermögen, wie die einzigartige menschliche Fähigkeit letztendlich zustande kam, so geben sie uns doch eine Basis, mit der wir anfangen können, das Geschehene zu verstehen.

Eine Voradaptation ist eine Veränderung in einer Spezies, die selbst nicht adaptiv (d. h. also selektiv neutral) ist, aber dennoch den Weg für nachfolgende adaptive Veränderungen bahnt. Bipedie, zum Beispiel, setzte anatomische Veränderungen in Gang, die im menschlichen Stimmtrakt gipfelten. Obwohl Sprache eindeutig adaptiv ist, ist Bipedie selbst keine Adaptation für Sprache; es ist eine Voradaptation. Dieses Beispiel betrifft die Hardware der Sprache, nämlich den Stimmtrakt. Viele Veränderungen in der Software unserer Spezies, nämlich in unseren geistigen Fähigkeiten, waren notwendig, damit wir sprachbereit werden konnten; diese sind kognitive Voradaptationen der Sprache. Voradaptationen der Sprache umfassen die folgenden Kapazitäten oder Veranlagungen:

- eine *vorphonetische* Kapazität, um Sprachlaute und manuelle Gebärden auszuführen;
- eine *vorsyntaktische* Kapazität, um längere Sequenzen von Lauten oder Gebärden zu organisieren;
- *vorsemantische* Kapazitäten: a.) um grundlegende Konzepte zu bilden, b.) um kompliziertere Konzepte (z. B. Propositionen) zu konstruieren, c.) um mentale Kalkulationen über komplexe Konzepte auszuführen;
- *vorpragmatische* Kapazitäten: a.) um die mentalen Kalkulationen, die andere ausführen können, ableiten zu können, b.) um kooperativ zu handeln, c.) um dieselbe externe Situation wie andere zu beachten, d.) um symbolische Aktionen als Ersatz für reale Aktionen zu akzeptieren;
- eine elementare *symbolische* Kapazität, Laute oder Gebärden beliebig mit Basiskonzepten zu verbinden, so daß die Wahrnehmung der Aktion das Konzept aktiviert und das Beachten des Konzeptes Laute oder Gebärden initiieren kann.

Wenn eine Fähigkeit in einer mit dem Menschen entfernt verwandten Spezies gefunden wird, kann dies bedeuten, daß es sich dabei um eine altertümliche, primitive Kapazität handelt. Andererseits wiederum, falls nur unsere nahesten Verwandten, die Menschenaffen, diese Fähigkeit besitzen, können wir daraus schließen, daß es eine jüngere evolutionäre Entwicklung ist. Wiederkehrende Themenpaare in der Diskussion vieler dieser Fähigkeiten sind *gelerntes* im Gegensatz zu angeborenem Verhalten und die *freie Kontrolle* des Verhaltens.

Freie Kontrolle ist eine Sache des Abstufungsgrades, der von unfreiwilligen Reflexen zu Aktionen, deren interne Ursache uns verborgen bleibt, reicht. Allen Wirbeltieren kann wahrscheinlich ein Maß an freier Kontrolle zugesprochen werden. In einem gewissen Sinne und in manchen Umständen „entscheiden“ sie, was sie tun. Im Englischen ist jenes „voluntary“ den lebendigen Kreaturen vorbehalten. Nur im Witz sagen wir über eine Maschine, daß sie einen „eigenen Willen“ habe, und zwar genau dann, wenn wir nicht wissen, welche komplexen internen Zustände zu einem gewissen unvorhersehbaren Verhalten geführt haben. Das Wort ‚frei‘ wird verwendet, um ganze Aktionen zu beschreiben. Wenn die Aktionen simpel sind, können sie, wie der Blinzelreflex, gänzlich automatisch und unfreiwillig sein. Bei komplexen Aktionen jedoch kann die ganze Aktion als ‚freiwillig‘ bezeichnet werden, obwohl es wahrscheinlich ist, daß sie eine automatische und eine nichtautomatische Komponente besitzt. Sowohl der automatische wie auch der nichtautomatische Teil können von komplexen Vorgängen bestimmt werden, die uns verborgen bleiben. Was Menschen von anderen Spezies unterscheidet, ist die Fähigkeit, in wenigen Jahren automatische Kontrolle der extrem komplexen syntaktischen und phonologischen Vorgänge, die dem Sprechen und dem Verstehen der Sprache zugrunde liegen, zu erlangen. Solche Automatisierung muß die Etablierung von speziellen Nervenstrukturen beinhalten. Es erscheint angemessen, gewisse Teilmengen dieser Nervenstrukturen mit dem, was Linguisten Grammatik nennen, zu identifizieren. Der schiere Umfang an Informationen, der so verschlüsselt ist (Sprachen sind massiv), beweist die enorme Plastizität des menschlichen Gehirns, die auf linguistische Fakten spezialisiert ist.

Menschliche Sprachen sind größtenteils gelernte Systeme. Je plastischer eine Spezies sich verhält, desto komplexer sind die kulturellen Traditionen, darunter auch die Sprachen, die entstehen können. Unsere nächsten Verwandten, die Schimpansen, zeigen eine deutlich größere Variationsbreite an Verhalten als alle anderen nichtmenschlichen Tiere; ihre kulturellen Traditionen sind dementsprechend viel facettenreicher, während sie jedoch menschliche kulturelle Vielfältigkeit und Komplexität unterschreiten. Kombiniert mit Plastizität, trägt freiwillige Kontrolle mehr Komplexität und Unvorhersehbarkeit zu den Verhaltensmustern bei. Viele der Unterschiede zwischen Menschen und anderen Spezies können außerordentlich gewachsener Plastizität und freiwilliger Kontrolle dieser voradaptiven Kapazitäten zugeschrieben werden.

2.1 Vorphonetische Kapazität

Schimpansen können nicht sprechen. Sie haben typischerweise sehr geringe freiwillige Atemkontrolle. Für wilde Schimpansen ist freiwillige Atemkontrolle nichts Natürliches. Andererseits haben Schimpansen sehr gute freiwillige Kontrolle über ihre manuellen Gebärden, obwohl sie in feiner manueller Arbeit nicht so fähig wie Menschen sind. Eine für die Entstehung der modernen gesprochenen Sprache notwendige Voradaptation war die Ausdehnung der freiwilligen Kontrolle von den Händen auf den Stimmtrakt.

Kontrollierte Aktionen durch Beobachtung zu lernen, erfordert die Fähigkeit des Imitierens. Nachahmung beinhaltet eine beeindruckende ‚Übersetzung‘ von sensorischen Eindrücken in motorische Befehle. Denken Sie an ein Lächeln. Ohne Spiegel oder Sprache hat man keine Garantie, daß Muskelkontraktionen den Effekt produzieren, den man auf dem Gesicht des anderen wahrnimmt. Angesichts der notwendigen freiwilligen Kontrolle und der anatomischen Hardware sollte das Nachahmen von Sprachlauten einfacher sein als das Imitieren

von Gesichtsausdrücken, da man seine eigene Stimme hören kann. Die Imitationsfähigkeit ist in einer erstaunlichen Reihe von Spezies vorhanden. Manche Vögel können menschliche Sprache und viele andere Laute nachahmen. Delphine können trainiert werden, menschliche Bewegungen zu imitieren. Die Kapazität für Imitation kann in verschiedenen Spezies separat evolvieren, mit oder ohne die anderen notwendigen voradaptiven Erfordernisse für menschliche Sprache. Eine neurale Basis für Imitation wurde bei Affen in der Form von ‚Spiegelneuronen‘ entdeckt, welche sowohl beim Ausführen einer gewissen Aktion, wie dem Greifen, als auch beim Beobachten derselben, von einem anderen Tier ausgeführten Aktion feuern. Eine immer wieder aufgegriffene Theorie in der Phonetik ist die „motorische Theorie der Sprachwahrnehmung“, die behauptet, daß Sprachlaute im Gehirn als motorische Anleitungen repräsentiert werden, die notwendig sind, um sie auszuführen.

Obwohl sie nicht sprechen können, fällt es unseren Menschenaffenverwandten leicht, verschiedene gesprochene menschliche Worte zu erkennen. Die Fähigkeit, die Arten von Lauten, die die Sprache ausmachen, zu unterscheiden, geht offenbar dem Erwerb der Sprache selbst voran.

2.2 Vorsyntaktische Kapazität

Syntax beinhaltet das Aneinanderknüpfen von unabhängigen Teilelementen zu einem längeren Signal. In diesem Abschnitt befassen wir uns mit dem Problem, das MARLER (1977) als ‚phonologische Syntax‘ – im Gegensatz zur ‚lexikalischen Syntax‘ – bezeichnet. In der phonologischen Syntax haben die Elemente, wie die Buchstaben im geschriebenen Wort, keine unabhängige Bedeutung. In der lexikalischen Syntax haben die Elemente, so wie die Wörter in einem deutschen Satz, Bedeutungen, die zur Gesamtbedeutung des ganzen Signals beitragen. Viele Vogelspezies können Lieder mit phonologischer Syntax lernen. Singvögel, die komplexe Lieder lernen, sind sehr entfernte Verwandte des Menschen. Viele andere Vögel und dem Menschen näher verwandte Spezies, einschließlich der meisten Säugetiere, produzieren keine Rufe, die aus unabhängigen Untereinheiten aufgebaut sind. Allerdings produzieren unsere nächsten Verwandten, die Menschenaffen, lange, aus Untereinheiten zusammengesetzte Rufe. Die langen Rufe der Gibbons sind individuelle Identitätsmarker, die zum Werben und Verteidigen der Territorien dienen. Die Untereinheitennoten, die in Isolation, außerhalb des Kontexts der langen Rufe, verwendet werden, werden in Verbindung mit territorialer Aggression eingesetzt, und es ist nicht klar, ob die Bedeutungen dieser Noten durch irgendeine plausible Operation zusammengesetzt werden können, um die identitätsangehende Bedeutung des ganzen Signals zu erzeugen.

Die Gesangsvorführungen der männlichen Gibbons sind für ihre extreme Vielseitigkeit bekannt. Präzise Kopien dieser Gesänge werden selten nacheinander wiederholt, und die Gesangsrepertoires der individuellen Männchen sind sehr groß. Trotz dieser Variabilität beherrschen Regeln die interne Struktur dieser Gesänge. Männliche Gibbons verwenden eine diskrete Anzahl von Tönen, um Gesänge zu konstruieren. Gesänge werden nicht durch eine willkürliche Auswahl an Tönen geformt. Die Verwendung von Tontypen variiert mit der Position, und Übergänge zwischen Notentypen sind nicht zufällig (MITANI und MARLER 1989, S. 35).

Obwohl man solche Fähigkeiten in Menschenaffen ‚vorsyntaktisch‘ nennen kann, sind sie dennoch weit entfernt von der menschlichen Fähigkeit, Wortsequenzen so zu organisieren, daß sie komplizierte hierarchische Sätze bilden. Man weiß wenig über die Fähigkeit von Men-

schenaffen, hierarchisch strukturiertes Verhalten zu lernen, obgleich alle Forscher zu erwarten scheinen, daß Menschenaffen darin weniger kompetent sind als Menschen (siehe BYRNE und RUSSON 1998 und WHITEN 2002 für weitere Diskussion).

2.3 Vorsemantische Kapazitäten

2.3.1 Grundlegende Konzeptformation

Viele Spezies führen, im Vergleich zu Menschen und selbst zu Menschenaffen, einfache Leben und verfügen demzufolge nicht über sehr viele Konzepte, aber sie verfügen doch über einige wenige. „Wiederholte Kategorisierung und Aufrechterhaltung interner Beschreibungen von Objekten sind auch intrinsische Eigenschaften der Gehirnfunktion von vielen Tieren außer den anthropoiden Menschenaffen“, heißt es bei WALKER (1983, S. 378). Der Unterschied zwischen Menschen und anderen Tieren bezüglich ihres Konzeptinventars ist quantitativ. Tiere haben die Konzepte, die sie brauchen und die an ihre eigene physiologische und ökologische Nische angepaßt sind. An Menschen aber ist so erstaunlich, wie viele Konzepte sie besitzen bzw. zu erwerben fähig sind und daß diese Konzepte sehr deutlich die Reichweite des unmittelbar Notwendigen überschreiten. Grundlegende konkrete Konzepte, die eine einfache vorsemantische Kapazität ausmachen, besaßen bereits unsere entfernten Vorfahren. (Einen guten Überblick liefert JOLLY 1985, Kapitel 18; man siehe auch ALLEN und HAUSER 1991.)

Ferner ist etwas, das der freiwilligen Kontrolle ähnelt, ebenfalls relevant für vorsemantische Fähigkeiten. Wir müssen nicht mit der Präsenz eines Objekts stimuliert werden, damit ein Konzept davon aufgerufen wird. Manche Tiere könnten diese Fähigkeit bis zu einem gewissen Grade auch besitzen. Wenn ein Tier in die Gebiete seiner üblichen Nahrungssuche aufbricht, weiß es, wo es hingehen muß, da es von vielen verschiedenen Orten aus dorthin findet und sogar neue Wege einschlagen kann. Das heißt, das Tier hat sich ein Konzept jenes Ortes gebildet, der außerhalb des Platzes liegt, an dem es sich momentan befindet. Damit allerdings die vollständige (menschliche) Sprache erworben werden konnte, mußte ein Weg evolvieren, der es ermöglicht, geistig auf eine weitaus freiere Weise, als Tiere es zu können scheinen, Gedanken zu überblicken.

2.3.2 Komplexe Konzeptformation

Die Fähigkeit, komplexe, systematisch aus Teilen bestehende, konzeptuelle Strukturen zu formen, ist entscheidend für die menschliche Sprache. Die logische Prädikat-Argument-Struktur unterliegt der Botschaft, die durch Sprache übermittelt wird. Worte, die menschliche Sätze ausmachen, entsprechen typischerweise den Elementen einer konzeptuellen/logischen Repräsentation. Während Menschenaffen nicht den Eindruck erwecken, als könnten sie wie Menschen so komplizierte Strukturen speichern, scheint es gewiß, daß sie geistige Repräsentationen in Prädikat-Argument-Format besitzen. Das einfache Beachten eines Objektes ist vergleichbar mit dem Zuordnen einer geistigen Variable, die wiederum als Argument für jedes Prädikat agiert, durch welches das Tier eine Beurteilung ausdrückt. Die zwei Vorgänge, die einerseits für das Beachten eines Objektes und andererseits für das Erstellen einer, dieses Objekt betreffenden, Beurteilung verantwortlich sind, sind neurologisch separat und erfordern

unterschiedliche (dorsale und ventrale) Bahnen im Gehirn. Dies ist nicht nur bei Menschen der Fall, sondern auch bei Menschenaffen und eng verwandten Affen (siehe Argument und Referenzen in HURFORD et al. 2003). Es scheint gewiß, daß alle Spezies, die eng mit dem Menschen verwandt sind, sowie auch manche entfernter verwandten Spezies, zumindest jene repräsentative Kapazität besitzen, die eine vorsemantische Voradaptation für Sprache ist.

2.3.3 Mentale Kalkulation

Menschen sind nicht die einzige Spezies, die fähig ist, von erfahrenen Fakten auf Vorhersagen über nicht-erlebte Zustände zu schließen. Es existiert ausführliche Fachliteratur über das Problemlösen bei Tieren, was zu einer Rangordnung der verschiedenen Spezies anhand ihrer Leistung bei gewissen einfachen Folgerungsaufgaben bezüglich neuer Erfahrungen führte (siehe KRUSHINSKY 1956 für ein berühmtes Beispiel). Menschenaffen und Affen kommen dem Menschen im Problemlösen am nächsten, wobei ihre Folgerungsfähigkeiten jene des Menschen stark unterschreiten.

2.4 Vorpragmatische Kapazitäten

2.4.1 Gedankenlesen und Manipulation

Wenn ein Mensch eine Äußerung hört, muß er herausfinden, was der Sprecher damit meinte; dies ist Gedankenlesen. Wenn ein Mensch spricht, tut er dies mit gewisser Abschätzung der Reaktion des Hörers; dies ist soziale Manipulation. Menschen haben speziell gut entwickelte Kapazitäten für soziale Manipulation und Gedankenlesen, und diese evolvierten von ähnlichen, bei den Menschenaffen noch sichtbaren Fähigkeiten in unseren Vorfahren. Soziale Intelligenz, eine hochentwickelte Fähigkeit, die erlaubt, die Aktionen von Mitgliedern der Gruppe zu verstehen und vorherzusagen, war eine notwendige Voraussetzung für die Entstehung der Sprache. Neue Studien zeigen diese Manipulations- und Gedankenlesefähigkeiten auch bei Schimpansen (BYRNE et al. 1988, DE WALL 1982, 1989, HARE et al. 2001).

2.4.2 Kooperation

Menschen können die beabsichtigte Bedeutung von Aussagen, deren wörtliche Umsetzung in gewisser Weise unangemessen ist, verstehen, z. B. deuten sie den Satz „Es ist kalt hier.“ als Bitte, das Fenster zu schließen. Um zu ergründen, wie wir solche Indirektheit bewältigen, muß traditionelle Logik mit dem Kooperativen Prinzip (GRICE 1975) ergänzt werden. Das Prinzip besagt, daß Sprachanwender auf bestimmte Weise hilfreich zu sein versuchen. Für die Nutzung der Sprache bedarf es dieser Basis an Hilfsbereitschaft. Ein so komplexes Kommunikationssystem hätte ohne verlässliche Hilfsbereitschaft zwischen den Nutzern nicht evolviere können.

Menschen stehen in der Hilfsbereitschaft an der Spitze der Rangordnung. Die Basis der Kooperation bei sozialen Insekten ist gänzlich angeboren, und die Auswahl an kooperativen Verhaltensweisen ist gering. Bei Menschen wird Kooperation, auf einer generellen natür-

lichen Veranlagung, hilfsbereit zu sein, beruhend, durch eine Reihe von spezifischen Gruppenvorhaben kulturell übermittelt. Kindern wird beigebracht, „Mannschaftsspieler“ zu sein. Außer bei Menschen existiert eine vereinbarte Anleitung zur Kooperation nicht, obwohl Fälle berichtet werden, in denen ein Tier für die Verletzung von Hilfsbereitschaft bestraft zu werden scheint (HAUSER 1996, S. 107–109). Das heißt, daß die Basis für kooperatives Verhalten und für die Erziehung zu solchem Verhalten bei einigen Spezies existiert, die mit dem Menschen nahe verwandt sind. Vor allem Schimpansen und Bonobos zeigen oft versöhnendes und friedenserhaltendes Verhalten (DE WALL 1988, 1989). Veranlagungen zu Kooperation und Erhaltung des Gruppenzusammenhalts sind pragmatische kognitive Voradaptionen für Sprache.

2.4.3 Gemeinsame Aufmerksamkeit

Katzen sind unfähig, einem zeigenden Finger zu folgen; Hunde sind besser. Sprache wird auch verwendet, um – sowohl direkt als auch indirekt – auf Sachen zu „zeigen“. Linguisten und Philosophen nennen dies „Bedeutung“. Wenn ein Sprecher einen anderen Menschen „bedeutet“, z. B. indem er ein persönliches Pronomen verwendet, so hat er die Absicht, den Hörer zu bewegen, jener anderen Person Aufmerksamkeit zu schenken. Erfolgreiche Benutzung der Sprache erfordert die Fähigkeit zu wissen, worüber der Sprecher spricht. Ein Mechanismus, um gemeinsame Aufmerksamkeit zu erlangen, ist notwendig. Menschliche Babies und Kinder sind geschickt darin, Blicken und Fingern zu folgen (FRANCO und BUTTERWORTH 1996, MORALES et al. 2000, CHARMAN et al. 2000). Die Tatsache, daß die Sklera nur bei Menschen sichtbar ist, hilft uns wahrscheinlich herauszufinden, was andere Menschen anblicken.

Enger mit dem Menschen verwandte Primaten sind beim Verfolgen des menschlichen Blickes besser als solche, die entfernter mit uns verwandt sind (ITAKURA 1996). Schimpansen folgen menschlichen Blicksignalen, während Nicht-Menschenaffen, wie Makaken, am Verfolgen des menschlichen Blicksignals scheitern. Jedoch haben Experimente mit Rhesusaffen, die mit anderen Artgenossen interagierten, gezeigt, daß diese Tiere deren Blick folgen (EMERY et al. 1997). Spontanes Deuten wurde auch bei Schimpansen, die zwar in Gefangenschaft waren, jedoch kein Sprachtraining erhielten (LEAVENS et al. 1996), und bei jungen freilaufenden Orang-Utans (BARD 1992) beobachtet. Daraus läßt sich folgern, daß Tiere, die eng mit dem Menschen verwandt sind, viel von jenem kognitiven Apparat, um gemeinsame Aufmerksamkeit zu etablieren, die die Basis für Bedeutung in der Sprache ist, besitzen.

2.4.4 Ritualisierte Aktionen

Kurze Grüße, wie *Hallo!* und *Hi!*, sind ausschließlich tatverrichtende Worte; sie beschreiben nichts, und sie können weder wahr noch unwahr sein. Wir entdecken genau solche tatverrichtenden Signale bei bestimmten ritualisierten Aktionen von Tieren. Das klassische Beispiel einer ritualisierten Aktion ist das knurrende Zähnefletschen der Hunde, welches nicht unbedingt einem unmittelbaren Angriff vorausgehen muß und ein Zeichen der Feindseligkeit ist. Menschliche ritualisierte Ausdrücke, wie *Hallo!*, sind Relikte eines früheren Tierverhaltens, heutzutage meist in die Phoneme der relevanten Sprache gekleidet. Manche menschlichen ritualisierten Ausdrücke jedoch, wie z. B. das alveolare Klicken, „tsk“, das Mißfallen ausdrückt, werden nicht an die Phonologie der Sprache (in diesem Falle Deutsch bzw. Englisch)

angepaßt. Die klassische Diskussion der Ritualisierung im Tierverhalten findet sich bei TINBERGEN (1952), der die Emanzipation des Signals von seinem ursprünglichen Kontext erkannte. Dieser Vorgang der Dissoziation zwischen der Form des Signals und dessen Bedeutung kann als die Basis für die, im nächsten Abschnitt behandelte, Fähigkeit, beliebige Assoziationen zwischen Signalen und deren Bedeutungen zu formen, gesehen werden. (Siehe HAIMANN 1994 zu einem erweiterten Argument für Ritualisierung als zentralem Vorgang der Evolution der Sprache.)

2.4.5 Elementare symbolische Kapazitäten

Der Klang des Wortes *Baum* zum Beispiel hat keine ikonische Ähnlichkeit mit irgendeiner Eigenschaft eines Baumes. Diese Art von beliebiger Assoziation ist ausschlaggebend in der Sprache. Linguistische Symbole sind gänzlich erlernt. Das schließt aus der Sprache im engeren Sinne jegliche universellen instinktiven Schreie sowie Schmerzensschreie oder Angstwimmern aus. In freier Wildbahn gibt es viele Tiere mit einem limitierten Repertoire an Rufen, welche dazu dienen, die verschiedenen affektiven Zustände der Tiere anzuzeigen. In manchen Fällen besteht eine systematische Verbindung zwischen solchen Rufen und konstanten Aspekten der Umgebung. Das bekannteste Beispiel ist das Alarmsystem der Grünen Meerkatzen, das ausgeprägte Rufe für verschiedene Kategorien von Raubtieren enthält. Es gibt keine Hinweise, daß solche Rufe in einem bedeutenden Grade erlernt werden. Bis heute kann von keinem Tierruf, sofern er in freier Wildbahn vorkommt, behauptet werden, daß er die Fähigkeit für das Erlernen beliebiger Zuordnungen von Signalen zu Botschaften andeutet.

Trainierte Tiere, besonders Menschenaffen, haben andererseits nachweislich die Fähigkeit gezeigt, beliebige Zuordnungen zwischen Konzepten und Signalen herzustellen. Die Wertschätze der trainierten Menschenaffen sind mit denen von vierjährigen Kindern vergleichbar, mit Hunderten an erlernten Einträgen. Ein Menschenaffe kann eine geistige Verbindung zwischen einem abstrakten Symbol und einem Objekt oder einer Aktion herstellen, jedoch fördern die Umstände des Lebens in freier Wildbahn diese Fähigkeit nicht, so daß sie unterentwickelt bleibt.

Die frühesten Verwendungen von arbiträren Symbolen in unserer Spezies geschahen wahrscheinlich, um persönliche Identität anzuzeigen (KNIGHT 1998, 2000). Sie ersetzen nicht-symbolische Statusindikatoren, wie z. B. physische Größe, und unfreiwillige Inhalte, wie etwa die Zurschaustellung des Federkleids. Bei Gibbons zeigen Territorialrufe auch Eigenschaften wie Geschlecht, Rang und Paarungszustand an (COWLISHAW 1992, RAEMAEEKERS et al. 1984). Das duettierende lange Rufverhalten der Schimpansen und Bonobos, in dem ein Tier seinen Ruf dem eines anderen angleicht, weist auf eine gewisse Übertragbarkeit der Rufe zwischen Individuen sowie auf ein Element des Lernens hin. Solches Duettieren ist jedoch eher „papageienhaft“, da das imitierende Tier wahrscheinlich nicht versucht, die Botschaft (z. B. Rang, Identität) des imitierten Rufes zu vermitteln. Das Duettieren ist daher kein Beweis für die Übermittlung *symbolischen* Verhaltens von einem Individuum zum anderen. Wahrscheinlich hat das Duettverhalten selbst soziale/praktische Aussagekraft, möglicherweise ist es dem Kraulen ähnlich.

Für Menschen ist die Fähigkeit, Symbole sprachlich auszutauschen, natürlich. Aber sogar Menschen haben Schwierigkeiten, wenn die Symbole mit den Bedeutungen nicht harmonieren, also z. B. das Wort *rot* in *grün* gedruckt ist. Menschen können solche Schwierigkeiten

überwinden und in der Reaktion dem *Symbol* gegenüber dem *Ding* den Vorrang einräumen. Schimpansen sind hingegen anscheinend nicht fähig, instinktive Reaktionen auf konkrete Stimuli für Reaktionen auf Symbole zu opfern. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, nehmen selbst trainierte Menschenaffen nur an symbolischem Verhalten Anteil, wenn es darum geht, ihre unmittelbaren Begierden zu befriedigen. Die Lebensumstände der wilden Schimpansen förderten nicht die Evolution einer Tierspezies mit hoher Bereitschaft oder Willigkeit, Symbole (wie Menschen) zu verwenden, obwohl die Rudimente entsprechender Fähigkeiten vorhanden sind.

Alle diese Voradaptationen beschreiben Fälle, in denen eine für die entwickelte menschliche Sprache ausschlaggebende Fähigkeit – wenn auch in einem sehr geringen Grade – in unseren vorlinguistischen Vorfahren bereits präsent war. Beachten Sie, daß Fähigkeiten auf den Ebenen der linguistischen Struktur, in denen Sprache mit der externen Welt verkoppelt ist, nämlich Phonetik, Semantik und Pragmatik, aller Wahrscheinlichkeit nach (und abgesehen von der motorischen Sprechkontrolle) relativ näher den modernen menschlichen Fähigkeiten waren als jene in den „Kernebenen“ der linguistische Struktur, nämlich Phonologie und Morphosyntax. Ausgearbeitete Phonologie und Syntax, so charakteristisch sie für vollständige menschliche Sprache sind, erscheinen erst später auf der Bühne. Bei modernen Menschen ist die syntaktische und phonologische Organisation von Ausdrücken, wenn auch erlernt, so doch nicht unter bewußter Kontrolle. In gewissem Sinne evolvierte Sprache von außen nach innen; ihre Geschichte ist die einer sich verbreiternden Kluft, die von erlernbaren automatischen Prozessen zwischen den Absichten des Erzeugers der Signale (den Bedeutungen) und dem Signal selbst überbrückt wird. Am Anfang der Entwicklung standen einfache Rufe, vergleichbar mit dem deutschen *Hallo!*, mit denen einem elementaren Signal direkt ein elementarer sozialer Akt zugeordnet wurde. Jede menschliche Äußerung ist in gewisser Weise immer auch ein Sprechakt. Wir haben nun die Möglichkeit, höchst fortgeschrittene Sprechakte auszuführen, deren Interpretation das Verarbeiten eines komplexen Signals zu einer komplexen konzeptuellen Repräsentation, die von komplexen Kalkulationen begleitet wird, beinhaltet, um die voraussichtliche beabsichtigte soziale Kraft des Ausdruckes zu erlangen. Der ausschlaggebende letzte biologische Schritt, hin zur modernen menschlichen Sprachkapazität, war die Entwicklung eines Gehirns, das fähig ist, eine viel komplexere Zuordnung zwischen Signalen und konzeptuellen Repräsentationen zu erlangen und dadurch den Signalen und konzeptuellen Repräsentationen selbst das Wachsen an Komplexität ermöglicht. In den ersten Generationen nach der Entwicklung eines Gehirns, das zu solchen komplexen Zuordnungen fähig schien, war die Kommunikation nicht unbedingt komplexer. Die eigentlichen komplexen Strukturen, die wir heute in den Kommunikationssystemen (d. h. Sprachen) von Populationen, die mit entsprechenden Gehirnen ausgestattet sind, finden, brauchten unter Umständen eine gewisse Zeit, um sich herauszubilden. Die Mechanismen, mit denen die Sprachen in biologisch sprachbereiten Populationen wuchsen, werden im nächsten Abschnitt diskutiert.

3. Kulturelle Evolution der Sprachen

3.1 Die Zwei-Phasen-Natur der Sprachübermittlung

Ich habe vorhin die „Phänomene der menschlichen Sprache“ angedeutet. Moderne Linguisten konzentrieren sich gleichermaßen, wenn nicht noch mehr, auf die Noumena der Sprache.

Eine Noumenon/Phänomen-Unterscheidung durchzieht die Linguistik, von SAUSSURES *langue* und *parole*, über CHOMSKYS Kompetenz und Leistung (*competence* und *performance*), bis hin zu seiner späteren I(nternen)- und E(xternen)-Sprache (*internal* und *external language*). CHOMSKYS Kompetenzpostulat mißt dem Sprachsystem, in individuellen Hirnen beheimatet, psychologische Realität zu. Dies widerspricht SAUSSURES Charakterisierung der *langue* als Entität, die in gewisser Weise der Sprachgemeinschaft gehört. Der Schritt zur individuellen psychologischen Realität bahnte den Weg für eine erklärende Verbindung zwischen der Evolution der Sprache und der biologischen Evolution. Moderne Linguistik, gänzlich mit synchroner Kompetenz beschäftigt, hat das Potential, linguistische Phänomene sowie linguistische Noumena durch das zyklische Verhältnis zwischen den beiden, sich spiralenartig durch die Zeit entwickelnden Formen zu erklären, noch nicht entdeckt.

Wenn Sprecher in Raum und Zeit lokalisierte, gesprochene Äußerungen und spezifische Sprechakte produzieren, werden sie von ihrem Wissen hinsichtlich grammatikalischer Wohlgeformtheit sowie der Verhältnisse zwischen Paraphrasen und Ambiguität geführt. Dieses Wissen wurde wiederum als Reaktion auf frühere gesprochene Äußerungen und Sprechakte gebildet, als die Nutzer ihre Sprache erwarben. Moderne Linguistik tendierte dazu, die offenkundigen Phänomene der Sprache, die raumzeitlichen Ereignisse der primären linguistischen Daten (PLD), als „degeneriert“ und von geringem theoretischem Wert anzusehen. Die Bürde, das Sprachsystem so aufrechtzuerhalten, wie es von Generation zu Generation übermittelt wird, wurde praktisch komplett auf den postulierten angeborenen Apparat verlagert, der aus den angeblich chaotischen Daten überall auf der Welt auf ähnliche Weise Sinn gewinnt, was wiederum in linguistischen Universalien resultiert.

Offensichtlich sind Menschen von Geburt an mit einer einzigartigen intellektuellen Fähigkeit ausgestattet, die es ihnen erlaubt, Sprache zu erwerben. Sprache entsteht durch eine Interaktion zwischen dem Geist und externen Ereignissen. Die Proportionen zwischen dem angeborenen kognitiven Beitrag und dem Beitrag, der auf empirisch verfügbare Muster in den Stimuli zurückgeführt werden kann, muß noch aufgeklärt werden. Methodologisch ist es viel schwerer, Leistungsdaten systematisch zu studieren, da dies ausgiebige Korpuserfassung erfordert, und es nicht *a priori* deutlich ist, was genau zu Sammeln ist und wie das Gesammelte repräsentiert werden soll. In der Umschrift der linguistischen Eingabedaten eines Kindes ist es sehr wahrscheinlich, daß der Ersteller Entscheidungen trifft, die von seinem eigenen Wissen herrühren, und daß daher das wahre Rohmaterial, welches ein Kind verarbeitet, nicht wiedergegeben wird. Diese Schwierigkeit existiert in den Studien und Systematisierungen des erwachsenen Sprachwissens nicht, da diese gewissermaßen einfach vom Sessel aus durchgeführt werden können. Jedoch bedeutet die Widersprüchlichkeit der Daten, die für das Sprachwissen bei Erwachsenen verantwortlich sind, nicht, daß das einzig angemessene Objekt der Untersuchung die linguistische Kompetenz ist. Da Sprache aus der Interaktion von Geist und Daten entsteht, muß sich Linguistik mit beiden Phasen in diesem Lebenszyklus befassen.

Die Sicht der Sprache als zyklische Interaktion zwischen Generationen von I- und E-Sprache wurde von historischen Linguisten aufgegriffen. Statt abstrakte Gesetze des linguistischen Wandels aufzustellen, appellieren sie (z. B. ANDERSEN 1973, LIGHTFOOT 1999) an Prinzipien, die den Sprachoutput einer Generation mit dem erworbenen Wissen der nächsten vergleichen. Dies ist eine gesunde Entwicklung. Die Historische Linguistik befaßt sich mit dem Sprachwandel, wie er aus den vorhandenen Daten beobachtet bzw. abgeleitet werden kann, und zwar aus den stattfindenden oder rekonstruierten Veränderungen, die durch den Vergleich verwandter Sprachen und Dialekte, abgeleitet werden können. Im allgemeinen beschäftigt sich

die Historische Linguistik nicht mit der Entstehung moderner komplexer Formen aus früheren einfacheren Formen. Die Historische Linguistik als solche macht typischerweise „uniformitäre“ Annahmen (siehe NEWMAYER 2002, DEUTSCHER 1999 für eine Diskussion des Uniformitarismus). Im Gegensatz dazu ist es eine Aufgabe der evolutionären Linguistik herauszuarbeiten, wie moderne komplexe linguistische Systeme aus simpleren Anfängen hervorgehen konnten, indem sie die zyklischen Interaktionen zwischen raumzeitlichen Daten und angeeigneten Grammatiken als ihre zentrale erläuternde Devise verwendet. Diese Aufgabe wurde aus zwei relativ verschiedenen Richtungen angegangen, von Theoretikern der Grammatikalisierung und von Computermodellierern, die mit dem „Iterierten Lernmodell“ (*iterated learning model*, ILM) arbeiten. Ich diskutiere beide kurz im Folgenden.

3.2 Grammatikalisierung

Im Zentrum der Grammatikalisierungstheorie steht die Idee, daß die syntaktische Organisation sowie die offenkundigen Markierungen, die damit assoziiert sind, von nicht-syntaktischer, prinzipiell lexikalischer und diskursiver Organisation abstammen. Der Mechanismus dieser Entstehung ist die spiralenartige Interaktion der zwei Phasen der Existenz einer Sprache, der I- und E-Sprache. Durch häufige Verwendung eines bestimmten Wortes erhält dieses Wort eine spezialisierte grammatikalische Rolle, die es davor nicht besaß. In manchen Fällen ist diese neue Funktion des Wortes der erste Fall dieser Funktion überhaupt, in der betrachteten Sprache. Eindeutige Beispiele sieht man in der Entstehung von Tok Pisin, der Kreolsprache von Papua Neuguinea. In Tok Pisin ist *-fela* (oder *-pela*) eine Nachsilbe, die adjektivische Funktion anzeigt, wie z. B. in *niupela* „neu“, *retpela* „rot“ oder *gutpela* „gut“. Diese Form ist ohne Zweifel von dem englischen Nomen *fellow* (*Kamerad*) abgeleitet, ein Nomen, das zuvor nicht mit irgendeiner grammatikalischen Funktion identifiziert wurde, abgesehen von jener, die mit allen Nomen verbunden ist. Grammatikalisierung geschieht in der Geschichte aller Sprachen, nicht nur im Prozeß der Kreolisierung.

Die Grammatikalisierungstheorie wurde hauptsächlich von Wissenschaftlern erforscht, die sich mit relativ gegenwärtigen Veränderungen der Sprache beschäftigen (TRAUGOTT und HEINE 1991, HOPPER und TRAUGOTT 1993, TRAUGOTT 1994, PAGLIUCA 1994). Im Einklang mit der generellen Zurückhaltung bei Spekulationen über die entfernte Vergangenheit theoretisieren die meisten Grammatikalisierungsexperten nicht über die frühesten Sprachen oder deren Wege zur modernen Sprache. Trotzdem ist die *Unidirektionalität* ein wiederkehrendes zentrales Thema der Grammatikalisierungslehre. Der generelle Trend des Grammatikalisierungsvorganges geht ausschließlich in eine Richtung. Hin und wieder mag es Veränderungen, die in die entgegengesetzte Richtung laufen, geben, aber diese sind selten und werden reichlich von Veränderungen in die typische Richtung übertroffen. Daraus läßt sich schließen, daß sich die allgemeine Beschaffenheit der Sprachen mit der Zeit verändert haben muß, da Sprachen immer mehr grammatikalisierte Formen anhäufte. HEINE ist einer der wenigen Grammatikalisierungstheoretiker, die Spekulationen darüber angestellt haben, was dies für die wahrscheinliche Form der frühesten Sprachen bedeutet: „... aufgrund von Erkenntnissen in der Grammatikalisierungslehre haben wir argumentiert, daß Sprachen in der historisch nicht-rekonstruierbaren Vergangenheit – auf systematische Weise – verschieden gewesen sein dürften von den heutigen Sprachen. Wir haben spezielle Sequenzen der Evolution der grammatikalischen Struktur vorgeschlagen, die es uns ermöglichen, frühere Stadien der menschlichen

Sprache(n) zu rekonstruieren ... solche Evolutionen führten in einer prinzipientreuen Weise von konkreten lexikalischen zu abstrakten morphosyntaktischen Formen. [Das] weist einerseits darauf hin, daß grammatikalische Formen, wie Beugung oder Kongruenz und Diathese nicht vom Himmel fielen; vielmehr kann gezeigt werden, daß sie das Resultat von graduellen Evolutionen sind. Viel wichtiger aber ist, daß sich [daraus] schließen läßt, daß den frühesten vorstellbaren Stadien menschlicher Sprache(n) unter Umständen grammatikalische Formen, wie Beugungen, Kongruenz, Diathese usw. fehlten, so daß vielleicht nur zwei Arten von linguistischen Entitäten existierten: eine die dingartigen, zeitlich stabilen Entitäten (d. h. Nomen) bezeichnend und eine andere für die zeitlich nicht stabilen Konzepte wie Ereignisse (d. h. Verben).“ (HEINE und KUTEVA 2002, S. 394.)

Um die Diskussion voranzubringen, werde ich mindestens so kühn wie HEINE sein und die folgenden Vorschläge, wie die früheren Stadien der menschlichen Sprachen ausgesehen haben könnten, basierend auf der Unidirektionalität des Grammatikalisierungsvorganges, anbieten. Der Ursprung aller grammatikalischer Morpheme (Funktionswörter und Beugungsmarkierungen) liegt im lexikalischen Stamm. Dies führt zu der Annahme, daß die frühesten Sprachen

- keine Artikel hatten (moderne Artikel stammen typischerweise von Demonstrativa oder der Zahl *eins* ab);
- keine Hilfsverben hatten (diese stammen von Verben ab);
- keine Komplementierer hatten (welche auch von Verben abstammen könnten);
- keine subordinierenden Konjunktionen hatten (wahrscheinlich auch von Verben abstammend);
- keine Präpositionen hatten (von Nomen abstammend);
- keine Kongruenzmarkierung hatten (von Pronomen abstammend);
- keine Genusmarkierungen hatten (von Klassifizierungsnomen abstammend, welche wiederum von Nomen abstammen);
- keine Zahlwörter hatten (von Adjektiven und Nomen);
- keine Adjektive hatten (von Verben und Nomen).

Außerdem vermute ich, daß die frühesten Sprachen:

- keine Eigennamen (sondern nur definitive Beschreibungen) hatten;
- keine Illokutionsmarkierungen (so wie *bitte*) hatten;
- keine Nebensätze oder Hypotaxe hatten;
- keine abgeleitete Morphologie hatten;
- weniger Differenzierung zwischen den syntaktischen Klassen (unter Umständen noch nicht einmal Verben und Nomen) hatten; und
- weniger Differenzierung zwischen Subjekt und Thema hatten.

All dies ist typisch für (unstabile) Pidgin-Formen und erinnert an BICKERTONS Konstrukt „Protolanguage“, eine grobe pidginartige Form der Kommunikation, ohne Funktionswörter oder grammatikalische Morpheme. Ebenfalls im syntaktischen Bereich theoretisierte NEWMAYER (2000), daß alle frühen Sprachen S(ubjekt)O(bjekt)P(rädikat)-Struktur hatten (sobald sie über den Nomen/Verben-Unterschied verfügten).

Berücksichtigt man die Ideen der Grammatikalisierungstheorie über Bedeutung, so hätten die frühesten Sprachen in ihrer Semantik keine Metapher; keine Polysemie; keine abstrakten

Nomen; weniger subjektive Bedeutungen (z. B. epistemische Modalverben); weniger lexikalische Differenzierung (z. B. *Hand/Arm, schlendern/spazieren/trotten*); weniger Hyponyme und übergeordnete Ausdrücke.

Man kann ähnliche Ideen in der Phonologie anwenden. Wahrscheinlich hatten die frühesten Sprachen simple Vokalsysteme und nur K(onsonant)-V(okal)-Struktur. Im nächsten Teilabschnitt werden Computermodellierungen der Entstehung der phonologischen Struktur durch den zyklischen zweiphasigen Mechanismus der Sprachübermittlung behandelt.

3.3 Computermodellierung der Evolution der Sprache

Grammatikalisierungstheoretiker gehen von modernen Sprachen aus und arbeiten sich über bekannte Vorgänge des linguistischen Wandels zu früheren simpleren Stadien der Sprache zurück. Im Gegensatz dazu beginnen die Computermodellierer der entstehenden Sprachen mit simulierten Populationen, die überhaupt keine Sprache haben. Ihre Simulationen können zu interessanten Resultaten führen, in denen Populationen sich koordinierten Kommunikationscodes annähern, welche, wenn auch immer noch extrem einfach, bemerkenswerte Eigenschaften mit menschlicher Sprache gemein haben. Einige Beispiele solcher Arbeit finden sich bei BATALI (1998, 2002), KIRBY (2000, 2002), HURFORD et al. (2000), TEAL und TAYLOR (1999) sowie TONKES und WILES (2002). Ein Überblick dieser Arbeiten mit ihren prinzipiellen Dimensionen und der Analyse der Fragen, die sie aufwerfen, erschien unter HURFORD et al. (2002). HURFORD bezeichnet diese Klasse von Computermodellen „expression/induction“ (E/I) (*Äußerung/Induktion*)-Modelle; KIRBY hat diese allgemeine Klasse in „iterated learning models“ (ILMs) (*Iterierte Lernmodelle*) umgetauft, ein Begriff, der wahrscheinlich an Beliebtheit gewinnen wird. Es gibt einen bemerkenswerten Trend in den gegenwärtigen Computersimulationen der Sprachevolution, der vom Modellieren der biologischen Evolution der Eigenschaften des Spracherwerbsmechanismus wegführt (z. B. HURFORD 1989, 1991, BATALI 1994). Jüngere Simulationen (wie die bereits in diesem Abschnitt erwähnten) modellieren die Evolution der Sprache typischerweise über das iterierte Lernen. Solche Studien versuchen auch nicht, „alles zusammenzuführen“ und ein vollständiges sprachenähnliches Resultat zu erhalten; stattdessen erforschen sie die Interaktionen zwischen Paaren von streng isolierten Faktoren, die für das iterierte Lernmodell relevant sind (z. B. BRIGHTON und KIRBY 2001).

Sprache hat nicht immer existiert. Folglich ist es ein Rätsel, welches Verhalten die ersten Sprecher einer Sprache als Lernmodell verwendet haben. Computermodellierungsstudien sind dieses Problem mit Simulationen angegangen, in denen Individuen eine limitierte Kapazität für das zufällige Erfinden von linguistischen Formen besitzen, die den gegebenen (bereits existierenden) Bedeutungen entsprechen. Umfangreiche Fortschritte in der Computerleistung ermöglichen es, die komplexen interaktiven Dynamiken des Sprachenlernens von Kindern und ihr anschließendes Sprachverhalten als Erwachsene, welches wiederum das Lernmodell für die nächste Generation von Kindern wird, zu simulieren. Es ist heutzutage nicht nur möglich, das Lernen eines einigermaßen komplexen Kommunikationssystems durch ein einzelnes Individuum anhand eines Korpus von vorgelegten Beispielen von Bedeutung-Form-Paaren zu simulieren, sondern auch solche individuellen Lernvorgänge in eine Population von mehreren hundert Individuen (deren jeweiliges Lernen auch simuliert wurde) einzubetten und die Wiederholungen dieses populationsweiten Vorganges über viele historische Generationen zu verfolgen.

In der zitierten Forschung wurden solche Simulationen mit einigem Erfolg in evolvierte syntaktische Systeme einbezogen, die den Grammatiken der natürlichen Sprache auf grundlegende Weise ähneln. Diese Forschung kann als Fortschritt gegenüber den vorhergehenden Paradigmen der generativen Grammatik gesehen werden. In der frühen generativen Grammatik war es die Aufgabe des Forschers, Systeme von Regeln zu postulieren, die alle grammatikalischen Sätze ausschließlich der untersuchten Sprache generieren. Die frühen generativen Grammatiken waren einigermaßen strikt vorgegeben, und in einigen Fällen war es möglich, die Richtigkeit der Vorhersagen der Grammatik zu überprüfen. Allerdings, ob rigoros festgelegt oder auch nicht, waren die Grammatiken immer postuliert. Wie die Grammatiken selbst entstanden, wurde nicht erklärt, außer durch die ziemlich vage Behauptung, daß sie mit den gängigen Theorien des angeborenen Spracherwerbsmechanismus vereinbar seien. Die jüngsten Simulationsstudien, obwohl sie noch in ihren Kinderschuhen stecken, können legitimer Weise behaupten, daß sie die rigorosen Anforderungen für die präzisen psychologischen und sozialen Umstände, in denen die Grammatiken selbst evolvieren, verkörpern.

Diese Art der Computersimulationsforschung hat das Potential, das Wesentliche zu erklären, daß zu der Interaktion zwischen (a) den psychologischen Kapazitäten der Sprachlerner und (b) der historischen Dynamik der Population der Lerner, die zu komplexen Grammatiken, die den Grammatiken echter natürlicher Sprachen ähneln, führt. In solchen Simulationen beginnt eine Population von Agierenden ohne gemeinsames Kommunikationssystem. Die Handelnden besitzen gewisse „angeborene“ Kompetenzen, die typischerweise die Kontrolle über einen Raum an möglichen Bedeutungen, ein Inventar an möglichen Signalen und eine Kapazität für den Erwerb einer bestimmten Form von Grammatik nach Kontakt mit Beispielen von Bedeutung-Signal-Paaren einschließen. Die Simulationen verfahren üblicherweise so, daß jede Generation durch das Beobachten des kommunikativen Verhaltens von der vorherigen lernt. Am Anfang gibt es kein stimmiges kommunikatives Verhalten in der simulierten Population. Mit der Zeit jedoch entsteht ein zusammenhängendes gemeinsames syntaktisches System. Natürlich sind alle syntaktischen Systeme, die durch diese Forschungsparadigmen erreicht wurden, einfacher als real getestete Sprachen. Dennoch besitzen sie viele der zentralen Eigenschaften der syntaktischen Organisation natürlicher Sprachen, inklusive Rekursivität, Kompositionalität von Bedeutung, asymmetrische Verteilung regulärer und irregulärer Formen, in Abhängigkeit von der Frequenz, grammatikalische funktionale Elemente ohne bezeichnende Bedeutung, grammatikalische Markierungen des Passivums und der Reflexivität sowie grundlegende Aufteilung in Sätze.

Es gibt weniger Simulationen der Evolution des phonologischen Systems, doch was existiert ist beeindruckend. DE BOER (2001) bringt annäherungsweise ein Modell der Verteilung der Vokalsysteme in den Weltsprachen zustande, in dem individuell Handelnde Äußerungen austauschen und von einander lernen. Eine frühe computationale Studie (LINDBLÖM et al. 1984) kann als Modellierung des Vorganges, durch den Silben in strukturierten KV-Segmentsequenzen organisiert werden, interpretiert werden, wo die entstehenden selektierten Konsonanten und Vokale aus einem ökonomischen symmetrischen Set ausgewählt werden, wie es für reale Sprachen typisch ist.

Computersimulationen im Rahmen des iterierten Lernens enthüllen, was KELLER (1994) „Phänomene der dritten Art“ genannt hat und Adam SMITH (1786) den Machenschaften einer „unsichtbaren Hand“ zuschrieb. Sprachen sind weder natürliche Arten, wie Pflanzen und Tiere, noch Artefakte, also bewußte Kreationen der Menschen, wie Häuser und Autos. Phänomene der dritten Art entstehen aus den summierten unabhängigen Handlungen von Indivi-

duen, werden jedoch von den einzelnen Individuen nicht absichtlich konstruiert. Ameisenstraßen und Vogelschwärme sind Phänomene der dritten Art. KELLER argumentiert überzeugend, daß auch Sprachen es sind. Simulationen im Rahmen des ILM-Netzwerkes rüsten die Interaktionen zwischen Individuen auf das bloße Minimum ab, aus dem das Erscheinen sprachartiger Systeme gezeigt werden kann. Die Schlüsseleigenschaft dieser Modelle ist es, daß jede Generation ihre Sprache von einem begrenzten Satz von Exemplaren lernt, die die vorhergehende Generation produziert.

Eines der aussagekräftigsten Resultate dieser Arbeit ist Folgendes: In einer Population, die sowohl fähig ist, auswendig zu lernen, als auch die Regeln zu erwerben, die wiederkehrende Muster von Form-Bedeutung-Zuordnungen generalisieren, existiert ein Druck zur eventuellen Entstehung von Sprache, die Bedeutungen kompositionell ausdrückt. Weder die Berechnung der individuellen Fitness der Agierenden noch irgendwelche Betrachtungen über die kommunikative Wirksamkeit der Sprache spielen eine Rolle. Die Annäherungen an „effektive“ Sprachen ist im Grunde eine mathematische Folge der Rahmenbedingungen, analog den hexagonalen Zellen der Honigwaben. Zumindest ein Teil der regulären kompositionellen Musterbildung, die wir in Sprachen sehen, ist nicht etwa das Ergebnis einer angeborenen Neigung der Menschen, Sprachen eines bestimmten Typs zu erlernen, sondern eher der einfachen Tatsache, daß Sprachen von einer Generation zur nächsten durch einen limitierten Kanal, einen Engpaß, übermittelt werden. Wie Daniel DENNETT meinte (persönliche Kommunikation), stellt das das bekannte „Armut des Stimulus“-Argument des Spracherwerbs auf den Kopf. Das „Armut des Stimulus“-Argument beruft sich auf den Eindruck, daß menschliche Sprachen von überraschend dürftigen Daten gelernt werden. Arbeiten im Rahmen des iterierten Lernmodells beweisen, daß zwischen den Erwachsenen, die die Beispieldaten liefern, und dem kindlichen Lerner ein Engpaß *notwendig* ist, damit reguläre kompositionelle Sprache entsteht. Interessante Experimente zeigen nämlich, daß in diesen Modellen ein Überangebot an Daten (d. h. praktisch kein Engpaß) nicht zur Konvergenz in eine reguläre kompositionelle Sprache führt.

Diese zwei Forschungsbereiche, Grammatikalisierungslehre und Computermodellierung im Rahmen des ILMs, sind momentan ziemlich voneinander abgeschottet und werden von sich nicht überschneidenden Forschungsgemeinschaften betrieben. Computermodellierer stammen üblicherweise aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz und kennen daher (vorsichtig formuliert) wenig Latein und noch weniger Griechisch; Grammatikalisierungstheoretiker kommen hauptsächlich aus einem geisteswissenschaftlichen Werdegang, und es fällt ihnen schwer, Computermodelle zu begreifen. Letztendlich aber werden diese zwei Forschungsstränge zusammenlaufen. Wenn das geschieht, sollten sie sich auch in den untersuchten Fakten des historischen Wandels und der Kreolisierung annähern.

4. Schlußwort

In den letzten zwei Jahrzehnten haben neue Techniken, wie die Gen-Sequenzierung, umfangreiche Computersimulationen und verschiedene Gehirnkartierungsmethoden faszinierendes Licht auf vorher kaum betrachtete Eigenschaften geworfen. Leider sind diese Glanzlichter eher selektiv in ihrer Leuchtwirkung und erfassen daher jeweils nur Reflektionen von ein paar Dimensionen des enorm multidimensionalen Raumes der Sprachstruktur und -verwendung. Die Erforschung der Evolution der Sprache muß weitergehen, umfassend und im Detail, von den Resultaten einer langen Reihe an Disziplinen ausgehend. Das Studium von Ursprung und

Evolution der Sprache ist schwieriger als z. B. molekulare Biologie, physische Anthropologie oder Spracherwerbsforschung, weil es all diese Gebiete, aber darüber hinaus verschiedene weitere Ebenen einbeziehen muß. Wir verstehen heute viel mehr die Fragen über Ursprung und Evolution der Sprache als je zuvor. Aber genau deshalb, weil wir nun die Natur dieser Fragen besser erfassen, erkennen wir auch, daß selbst gute Antworten noch unzuverlässiger sind, als wir dachten.

Weiterführende Literatur

Als Nachschlagewerke für viele Themen, die hier z. B. im Kapitel „Voradaptation“ behandelt wurden, sind entsprechende Kapitel in den drei editierten Sammlungen HURFORD et al. (1998), KNIGHT (2000) und WRAY (2002) zu empfehlen. Für Arbeiten über die Grammatikalisierung und verwandte theoretische Stellungen werden DE BOER (2001), HOPPER und TRAUGOTT (1993), PAGLIUCA (1994) sowie TRAUGOTT und HEINE (1991) vorgeschlagen. Für Arbeiten über Computersimulationen der Evolution der Sprache werden BRISCOE (2002) und PARISI und CANGELOSI (2001) empfohlen.

Literatur

- ALLEN, C., and HAUSER, M. D.: Concept attribution in nonhuman animals: theoretical and methodological problems in ascribing complex mental processes. *Philosophy Sci.* 58, 221–240 (1991)
- ANDERSEN, H.: Abductive and deductive change. *Language* 40, 765–793 (1973)
- BARD, K. A.: Intentional behavior and intentional communication in young free-ranging orangutans. *Child Developm.* 63/5, 1186–1197 (1992)
- BATALI, J.: Innate biases and critical periods: Combining evolution and learning in the acquisition of syntax. In: BROOKS, R., and MAES, P. (Eds.): *Artificial Life 4. Proceedings of the Fourth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems*; pp. 160–171. Redwood City, CA: Addison-Wesley 1994
- BATALI, J.: Computational simulations of the emergence of grammar. In: HURFORD, J. R., STUDDERT-KENNEDY, M., and KNIGHT, C. (Eds.): *Approaches to the Evolution of Language: Social and Cognitive Bases*; pp. 405–426. Cambridge: University Press 1998
- BATALI, J.: The negotiation and acquisition of recursive grammars as a result of competition among exemplars. In: BRISCOE, E. (Ed.): *Linguistic Evolution through Language Acquisition: Formal and Computational Models*; pp. 111–172. Cambridge: University Press 2002
- BOER, B. DE: *The Origins of Vowel Systems*. Oxford: University Press 2001
- BRIGHTON, H., and KIRBY, S.: The survival of the smallest: Stability conditions for the cultural evolution of compositional language. In: KELEMEN, J., and SOSIK, P. (Eds.): *Advances in Artificial Life. Proceedings of the 6th European Conference on Artificial Life*. Heidelberg: Springer 2001
- BRISCOE, E. (Ed.): *Linguistic Evolution through Language Acquisition: Formal and Computational Models*. Cambridge: University Press 2002
- BYRNE, R. W., and RUSSON, A. E.: Learning by imitation: A hierarchical approach. *Behavioral and Brain Sciences* 21/5, 667–721 (1998)
- BYRNE, R. W., and WHITEN, A.: *Machiavellian Intelligence: Social Expertise and the Evolution of Intellect in Monkeys, Apes and Humans*. Oxford: Clarendon Press 1988
- CHARMAN, T., BARON-COHEN, S., SWETTENHAM, J., BAIRD, G., COX, A., and DREW, A.: Testing joint attention, imitation, and play as infancy precursors to language and theory of mind. *Cogn. Developm.* 15/4, 481–498 (2000)
- COWLISHAW, G.: Song function in gibbons. *Behavior* 121, 131–153 (1992)
- D'ARCY THOMPSON, R.: *On Growth and Form*. Edited by J. T. BONNER. Cambridge: University Press Abridged edition 1961
- DEUTSCHER, G.: The different faces of uniformitarianism. Paper read at the 14th International Conference on Historical Linguistics. Vancouver 1999
- EMERY, N. J., LORINCZ, E. N., PERRETT, D. I., ORAM, M. W., and BAKER, C. I.: Gaze following and joint attention in rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). *J. Comp. Psychol.* 111/3, 286–293 (1997)
- FRANCO, F., and BUTTERWORTH, G. E.: Pointing and social awareness: declaring and requesting in the second year of life. *J. Child Language* 23, 307–336 (1996)
- GRICE, P. H.: Logic and conversation. In: COLE, P. (Ed.): *Syntax and Semantics*. Vol. 3, 41–58. New York: Academic Press 1975

- HAIMAN, J.: Ritualization and the development of language. In: PAGLIUCA, W. (Ed.): *Perspectives on Grammaticalization*. Series: Current Issues in Linguistic Theory. Vol. 109, pp. 3–28. Amsterdam: John Benjamins 1994
- HARE, B., CALL, J., and TOMASELLO, M.: Do chimpanzees know what conspecifics know? *Anim. Behav.* 61/1, 139–151 (2001)
- HAUSER, M. D.: *The Evolution of Communication*. Cambridge, MA: MIT Press 1996
- HEINE, B., and KUTEVA, T.: On the evolution of grammatical forms. In: WRAY, A. (Ed.): *The Transition to Language*; pp. 376–397. Oxford: University Press 2002
- HOPPER, P. J., and TRAUOGOTT, E. C.: *Grammaticalization*. Cambridge: University Press 1993
- HURFORD, J. R.: Biological evolution of the Saussurean sign as a component of the language acquisition device. *Lingua* 77, 187–222 (1989)
- HURFORD, J. R.: The evolution of critical period for language acquisition. *Cognition* 40, 159–201 (1991)
- HURFORD, J. R.: Social transmission favours linguistic generalization. In: KNIGHT, C., STUDDERT-KENNEDY, M., and HURFORD, J. (Eds.): *The Evolutionary Emergence of Language: Social Function and the Origins of Linguistic Form*; pp. 324–352. Cambridge: University Press 2000
- HURFORD, J. R.: Expression/induction models of language evolution: dimensions and issues. In: BRISCOE, T. (Ed.): *Linguistic Evolution Through Language Acquisition: Formal and Computational Models*; pp. 301–344. Cambridge: University Press 2002
- HURFORD, J. R.: The neural basis of predicate-argument structure. Submitted to *Behavioral and Brain Sciences* 2003
- HURFORD, J. R., STUDDERT-KENNEDY, M., and KNIGHT, C. (Eds.): *Approaches to the Evolution of Language: Social and Cognitive Bases*. Cambridge: University Press 1998
- ITAKURA, S.: An exploratory study of gaze-monitoring in nonhuman primates. *Japan. Psychol. Res.* 38/3, 174–180 (1996)
- JOLLY, A.: *The Evolution of Primate Behavior*. New York: Macmillan 1985
- KAUFFMAN, S. A.: *The Origins of Order: Self Organization and Selection in Evolution*. Oxford: University Press 1993
- KAUFFMAN, S. A.: *At Home in the Universe: the Search for Laws of Self-organization and Complexity*. Oxford: University Press 1995
- KELLER, R.: *On Language Change: the Invisible Hand in Language*. London: Routledge 1994
- KIRBY, S.: Syntax without natural selection: how compositionality emerges from vocabulary in a population of learners. In: KNIGHT, C., STUDDERT-KENNEDY, M., and HURFORD, J. R. (Eds.): *The Evolutionary Emergence of Language: Social Function and the Origins of Linguistic Form*; pp. 303–323. Cambridge: University Press 2000
- KIRBY, S.: Learning, bottlenecks and the evolution of recursive syntax. In: BRISCOE, T. (Ed.): *Linguistic Evolution through Language Acquisition: Formal and Computational Models*; pp. 173–204. Cambridge: University Press 2002
- KNIGHT, C.: Ritual/speech coevolution: a solution to the problem of deception. In: HURFORD, J. R., STUDDERT-KENNEDY, M., and KNIGHT, C. (Eds.): *Approaches to the Evolution of Language: Social and Cognitive Bases*; pp. 68–91. Cambridge: University Press 1998
- KNIGHT, C.: Play as precursor of phonology and syntax. In: KNIGHT, C., STUDDERT-KENNEDY, M., and HURFORD, J. R. (Eds.): *The Evolutionary Emergence of Language: Social Function and the Origins of Linguistic Form*; pp. 99–119. Cambridge: University Press 2000
- KNIGHT, C., STUDDERT-KENNEDY, M. and HURFORD, J. R. (Eds.): *The Evolutionary Emergence of Language: Social Function and the Origins of Linguistic Form*. Cambridge: University Press 2000
- KRUSHINSKY, L. V.: Solution of elementary logical problems by animals on the basis of extrapolation. *Prog. Brain Res.* 17, 280–308 (1965)
- LEAVENS, D. A., HOPKINS, W. D., and BARD, K. A.: Indexical and referential pointing in chimpanzees (*Pan troglodytes*). *J. Comp. Psych.* 110/4, 346–353 (1996)
- LIGHTFOOT, D.: *The Development of Language: Acquisition, Change, and Evolution*. Oxford: Blackwell 1999
- LINDBLOM, B., MACNEILAGE, P., and STUDDERT-KENNEDY, M.: Self-organizing processes and the explanation of phonological universals. In: BUTTERWORTH, B., COMRIE, B., and DAHL, Ö. (Eds.): *Explanations for Language Universals*; pp. 181–203. Berlin: Mouton 1984
- MARLER, P.: The structure of animal communication sounds. In: BULLOCK, T. H. (Ed.): *Recognition of Complex Acoustic Signals (Report of Dahlem Workshop)*. Berlin: Dahlem Konferenzen 1977
- MAYNARD SMITH, J., and SZATHMÁRY, E.: *The Major Transitions in Evolution*. Oxford University Press 1995
- MITANI, J. C., and MARLER, P.: A phonological analysis of male gibbon singing behavior. *Behaviour* 109, 20–45 (1989)
- MORALES, M., MUNDY, P., DELGADO, C. E. F., YALE, M., NEAL, R., and SCHWARTZ, H. K.: Gaze following, temperament and language development in 6-month-olds: A replication and extension. *Infant Behav. Dev.* 23/2, 231–236 (2000)
- NEWMAYER, F. J.: On reconstructing “proto-world” word order. In: KNIGHT, C., HURFORD, J. R., and STUDDERT-KENNEDY, M. (Eds.): *Evolutionary Emergence of Language: Social Functions and the Origins of Linguistic Form*; pp. 372–388. Cambridge: University Press 2000
- NEWMAYER, F. J.: Uniformitarian assumptions and language evolution research. In: WRAY, A. (Ed.): *The Transition to Language*; pp. 359–375. Oxford: University Press 2002
- PAGLIUCA, W. (Ed.): *Perspectives on Grammaticalization*. Series: Current Issues in Linguistic Theory Vol. 109. Amsterdam: John Benjamins 1994
- PARISI, D., and CANGELOSI, A. (Eds.): *Simulating the Evolution of Language*. Berlin: Springer 2001
- RAEMAEKERS, J. J., RAEMAEKERS, P. M., and HAIMOFF, E. H.: Loud calls of the gibbons (*Hylobates lar*): repertoire, organization and context. *Behavior* 91, 146–189 (1984)
- SMITH, A.: *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations: in three Volumes*. London: A. Strahan and T. Cadell 1786
- TEAL, T., and TAYLOR, C.: Compression and adaptation. In: FLOREANO, D., NICLOUD, J. D., and MONDADA, F. (Eds.): *Advances in Artificial Life, Number 1674. Lecture Notes in Computer Science*. Berlin u. a.: Springer 1999
- TINBERGEN, N.: ‘Derived’ activities: their causation, biological significance, origin and emancipation during evolution. *Quart. Rev. Biol.* 27, 1–32 (1952)
- TONKES, B., and WILES, J.: Minimally biased learners and the emergence of language. In: WRAY, A. (Ed.): *The Transition to Language*; pp. 226–251. Oxford: Oxford University Press 2002
- TRAUGOTT, E. C.: Grammaticalization and lexicalization. In: ASHER, R. E., and SIMPSON, J. M. Y. (Eds.): *The Encyclopedia of Language and Linguistics*; pp. 1481–1486. Oxford: Pergamon Press 1994
- TRAUGOTT, E. C., and HEINE, B. (Eds.): *Approaches to Grammaticalization. Vol. I and II. Series: Typological Studies in Language*. Amsterdam: John Benjamins 1991
- WAAL, F. B. M. DE: *Chimpanzee Politics*. London: Jonathan Cape 1982
- WAAL, F. B. M. DE: The communicative repertoire of captive bonobos (*Pan paniscus*), compared to that of chimpanzees. *Behaviour* 106, 183–251 (1988)
- WAAL, F. B. M. DE: *Peacemaking among Primates*. Cambridge, MA: Harvard University Press 1989
- WALKER, S.: *Animal Thought*. London: Routledge and Kegan Paul 1983
- WEST, G. B., BROWN, J. H., and ENQUIST, B. J.: A general model for the origin of allometric scaling laws in biology. *Science* 276, 122–126 (1997)
- WHITEN, A.: Primate culture and social learning. *Cogn. Sci.* 24/3, 477–508 (2000)
- WRAY, A. (Ed.): *The Transition to Language*. Oxford: University Press 2002

Prof. Dr. James R. HURFORD
 Language Evolution and Computation Research Unit
 School of Philosophy, Psychology and Language Sciences
 University of Edinburgh
 Adam Ferguson Building
 Edinburgh EH8 9LL, Scotland
 UK
 Tel.: +44 131 6503959
 Fax: +44 131 6503962
 E-Mail: jim@ling.ed.ac.uk

Evolution durch Schrift

Jan ASSMANN (Heidelberg und Konstanz)



Zusammenfassung

Wir sind „Buchstabenmenschen“, konstatierte der jüdische Philosoph Moses MENDELSSOHN im Jahre 1783: „Vom Buchstaben hängt unser ganzes Wesen ab.“ Der Vortrag wird anhand einiger ausgewählter Beispiele der Frage nachgehen, in welchem Sinne die Erfindung der Schrift den Menschen verändert hat. Es geht also nicht um die Evolution der Schrift, etwa vom Bild zum Buchstaben, sondern durch Schrift, vom oralen Menschen zum Buchstabenmenschen. Das soll an vier Errungenschaften deutlich gemacht werden, die, das ist die These, überhaupt erst im Rahmen der entwickelten Schriftkultur möglich wurden: Staat, die Idee der Unsterblichkeit, kritisches Geschichtsbewußtsein und Monotheismus.

Abstract

We are scripturalized beings, the Jewish philosopher Moses MENDELSSOHN stated in 1783; all our being depends on writing. This essay explores with regard to certain selective aspects in which ways the invention of writing changed human beings and their world. The focus is thus not on the evolution of writing (e.g. from pictures to letters), but on evolution by writing, from oral man to literate man. This is shown for four cultural achievements that were made possible only through elaborate literacy: state, the idea of immortality, critical historical consciousness and monotheism.

1. Einleitung

„Wir sind Buchstabenmenschen“, schrieb der jüdische Philosoph und Aufklärer Moses MENDELSSOHN im Jahre 1783, „vom Buchstaben hängt unser ganzes Wesen ab, und wir können kaum begreifen, wie ein Erdensohn sich bilden und vervollkommen kann ohne Buch“. Und er fährt fort: „Mich dünkt, die Veränderung, die in den verschiedenen Zeiten der Kultur mit den Schriftzeichen vorgegangen, habe von jeher an den Revolutionen der menschlichen Erkenntnisse sehr wichtigen Anteil.“ MENDELSSOHN denkt also an eine Evolution der Schrift und zugleich an eine Evolution durch Schrift. Die Entwicklung der Schrift hat seiner Ansicht nach entscheidende Auswirkungen auf die geistige Entwicklung der Menschheit gehabt. Das gilt seiner Ansicht nach ganz besonders für die Religion; dies ist für ihn der wichtigste Aspekt unseres Buchstabenmenschentums (MENDELSSOHN 1783/1989, 421f.).

Zweihundert Jahre nach MENDELSSOHN hat der Soziologe Alfred LORENZER MENDELSSOHN'S Religionskritik aufgegriffen in einem Buch mit dem bezeichnenden Titel: *Das Konzil der Buchhalter: Die Zerstörung der Sinnlichkeit* (LORENZER 1981). Das Thema ist also durchaus aktuell. Hat der Gebrauch der Schrift uns zu Buchstabenmenschen bzw. zu Buchhaltern gemacht? Das Thema ist umso aktueller, als wir heute ja, anders als vor 200 Jahren, beim Anbruch des elektronischen Zeitalters wiederum vor einer Epochenschwelle stehen, die durch eine Medienrevolution weltgeschichtlichen Ausmaßes bedingt ist. Mit dem Übergang von der Schriftkultur zur Digitalkultur sind Wandlungen verbunden, die sich nur mit den Wandlungen vergleichen lassen, die mit dem Übergang von der Mündlichkeit in die Schriftlichkeit verbunden waren. Um zu verstehen, in welchem Umfang der Computer unsere Welt und damit auch uns zu verändern im Begriff ist, tun wir gut daran, uns darauf zu besinnen, in welchem Umfang die Schrift uns verändert hat.

Um diese Frage einer Evolution *durch* Schrift soll es also im folgenden Vortrag gehen, nicht um Evolution *der* Schrift. Aber so ganz, da hat MENDELSSOHN völlig recht, lassen sich diese beiden Aspekte nicht trennen. Auch die Schrift hat eine Evolution durchgemacht, die ihrerseits wieder intensivste Rückwirkungen auf die schriftbenutzenden Menschen hatte. Die Evolution *der* Schrift verläuft, ganz allgemein gefaßt, auf zwei Ebenen: von Sinnschrift zu Lautschrift, und vom Bild zum Buchstaben (z. B. HAARMANN 1990). So hat es schon MENDELSSOHN dargestellt. Sinnschriftliche Notationssysteme reichen weit zurück in der Geschichte der Menschheit; der Schritt zur Notation von Sprachlauten dagegen wurde erst gegen 3200 ungefähr gleichzeitig in Mesopotamien und Ägypten vollzogen. Es gibt Schriften wie die chinesische und die japanische, die ihre bildlichen und sinnschriftlichen Elemente nie ganz abgestreift und sich nie zur Buchstabenschrift entwickelt haben, sondern ihren eigenen Weg gegangen sind, so daß die Formel „Vom Bilde zum Buchstaben“ nur den westlichen, nicht den östlichen Entwicklungsweg der Schrift beschreibt. Daher ist auch die Entwicklung *durch* Schrift im Osten zweifellos anders verlaufen als im Westen. So gibt es Theorien, die den eigentlichen kognitions geschichtlichen Durchbruch erst mit der Alphabetschrift und nicht schon mit der Schrift allgemein ansetzen (z. B. HAVELOCK 1990). Von solchen Feineinstellungen sehe ich hier ab und beschränke mich, schon aus Zeitgründen, auf Entwicklungen, die mit der Schrift an sich und nicht erst mit der Alphabetschrift in Verbindung zu bringen sind. Außerdem geht es mir nicht um Schriftsysteme wie Silben-, Buchstaben- und Wortschriften, sondern um Schriftkulturen, um die gesellschaftliche Einbettung von Schrift, um die Frage „Was fangen Gesellschaften mit Schrift an?“. Auf dieser ganz allgemeinen Ebene wiederum

beschränke ich mich auf vier Gebiete, die durch die Verwendung von Schrift besondere Veränderungen erfahren haben: Staat, Kunst, Geschichte und Religion.

Was kann der Begriff „Evolution“ in unserem Zusammenhang bedeuten? Zweierlei gilt es hier vorab klarzustellen: Evolution bedeutet Veränderung, aber nicht in einer bestimmten, festgelegten Richtung; und zweitens, damit zusammenhängend: diese Veränderungen sind durch Schrift möglich geworden, stellen aber keine notwendigen Konsequenzen der Schriftkultur dar (GOODY 1986). In diesem Fall gilt: Wer „A“ sagt, muß nicht „B“ sagen, sondern kann auch „C“, „D“ oder „E“ sagen, aber keine dieser Möglichkeiten wäre ohne Schrift denkbar gewesen. Die Erfindung und Verwendung der Schrift hat vieles möglich gemacht, was sich dann im Einzelfall in Abhängigkeit von vielen anderen sozialen, kulturellen, politischen, geschichtlichen usw. Faktoren in der einen oder der anderen Weise realisiert hat.

Wenn der Mensch sich durch Schriftgebrauch verändert hat, dann ist damit nicht gemeint, daß das Lesen und Schreiben selbst direkt und unmittelbar uns verändert hätte, sondern daß die Schrift in Verbindung mit all dem, was im gegebenen Fall durch sie ermöglicht wurde, uns, d. h. unser Denken und Handeln, unser Selbstbild und unsere allgemeine Weltorientierung verändert hat. Schließlich, das muß wohl kaum betont werden, ist mit der Rede von der Veränderung des Menschen keine genetische, biologische Veränderung gemeint. Die Veränderungen, von denen hier die Rede sein wird, sind nicht biologisch, sondern nur kulturell vererbbar und können sich, wenn diese Kette abbricht, innerhalb kürzester Zeit wieder rückentwickeln.

Diese Kette ist freilich älter als man denkt und reicht weit vor die Schrifterfindung zurück. Wir Buchstabenmenschen können, wie schon MENDELSSOHN schrieb, nicht verstehen, wie ein Erdensohn sich bilden kann ohne Buch. Menschen, die in einer schriftlosen Welt leben, stellen wir uns als eine Art geistige Eintagsfliegen vor. In einer solchen Welt kann nichts festgehalten werden. Alles muß täglich oder doch von Generation zu Generation neu erfunden werden. Die Gedanken, die Sprache, die Technik – alles ist beherrscht vom Prinzip der Flüchtigkeit, des Vergessens und Verschwindens. Erst die Schrift, denken wir, stellt die Sprache auf ein dauerhaftes Fundament standardisierter Artikulation und Bedeutung und schafft ein über Generationen vererbbares Gedächtnis. Erst durch die Schrift hat sich die Menschheit aus dem geschichtslosen Raum des Vergessens befreit und jene geistige und technische Evolution freigesetzt, die uns nun in immer größerer Beschleunigung in das nachschriftliche Zeitalter der elektronischen Kommunikation katapultiert.

In dieser pauschalen Form stimmt das natürlich nicht. Seit wir ihn zurückverfolgen können, hat der Mensch datierbare Spuren hinterlassen, die auf Traditionsbildung, d. h. ein von Generation zu Generation weitergegebenes *Know-how* schließen lassen. Hier gibt es durchaus Entwicklung und Fortschritt. Eins baut auf dem Anderen auf, Erfindungen wie der Ackerbau, das Rad, die Pferdezucht werden nicht gleich wieder vergessen, sondern stetig perfektioniert, in den immer komplexer werdenden Morphologien der Höhlenmalereien, Felsbilder, Petroglyphen, Keramik usw. prägen sich nicht nur zeitliche Abfolgen, sondern auch ethnische Zugehörigkeiten aus, und all das deutet auf ein kulturelles Gedächtnis, kraft dessen sich die Menschheit schon lange vor Erfindung der Schrift im Fluß der Zeit stabile Sinn-, Symbol- und sogar Zeichenwelten aufbaute (LEROI-GOURHAN 1964–1965). Wir könnten auch sagen, daß in diesem Sinne die Menschheit immer schon geschrieben hat – wenn wir bereit sind, diese Form-, Symbol- und Zeichenwelten Schrift zu nennen, in denen das kulturelle Gedächtnis einer Gruppe sich zugleich ausdrückt und stabilisiert. Nicht erst die Schrift im Sinne der visuellen Kodierung von Sprache, sondern das Prinzip der Form wirkt als traditions-

oder gedächtnisbildendes Prinzip. Durch Formung können auch dem Gedächtnis selbst Dinge eingeschrieben werden. Geformte Sprache, durch Reim, Rhythmus, Assonanz, Wiederholung, behält sich leichter als ungeformte. Wo immer sich das kulturelle Gedächtnis des menschlichen Gedächtnisses als einer Art von Schrift bedient, stoßen wir auf ein hochentwickeltes Spezialistentum: die indischen Brahmanen, die afrikanischen Griots, die serbischen Guslaren, die altgriechischen Rhapsoden waren Gedächtniskünstler, die schier unglaubliche Überlieferungsmassen über die Jahrhunderte bewahrt haben.

In welcher Weise hat also nun die Schrift, im strengen Sinne der visuellen Kodierung von Sprache, die Welt verändert? Da muß man sich zunächst zweierlei klar machen. *Erstens*: die Schrift ist eine Form, die von sonstiger Formgebung unabhängig macht. Um etwas aufschreiben zu können, muß es nicht geformt sein. Die Schrift macht es möglich, die Prosa des Lebens, das Alltägliche, Ungeformte, keinem Gedächtnis Einprägbare festzuhalten. Wir sprechen ja auch von der „Schriftform“ und denken da in keiner Weise an poetische Formung, sondern bloß an die Niederschrift einer völlig beliebigen Mitteilung. *Zweitens*: die Lautschrift funktioniert nicht nur als ein externalisiertes Gedächtnis, das uns an etwas erinnern kann, sondern auch als eine externalisierte Stimme, die uns etwas mitteilen kann, auch wenn der Sprecher abwesend ist. Wir können nun feststellen, daß die Schrift für genau diese beiden Zwecke erfunden worden ist:

- als ein *künstliches Gedächtnis* oder Datenspeicher für kontingente, ungeformte, keinem Gedächtnis anvertraubare Daten, und
- als eine *künstliche Stimme* für Botschaften, die in eine keiner menschlichen Stimme erreichbaren räumlichen und zeitlichen Fernen dringen sollten.

2. Staat

Die frühesten Schriften sind in Mesopotamien und Ägypten erfunden worden, gegen Ende des 4. Jahrtausends v. Chr., und zwar beide Male in engstem Zusammenhang mit der Entstehung der ersten Staaten der Menschheitsgeschichte. Beide Phänomene gehören offenbar eng zusammen. Der frühe Staat, als Nachfolgeinstitution der vorausgehenden Dorfgemeinschaften und Häuptlingstümer, bedurfte der Schrift als künstlichen Gedächtnisses, um der unendlichen Datenfülle im Zusammenhang von Wirtschaft und Verwaltung Herr zu werden, und als künstlicher Stimme, um das herrscherliche Machtwort an alle Enden des Reiches dringen zu lassen und als Repräsentation königlicher Macht allen Bewohnern vor Augen zu stellen.

Die Schrift ermöglicht neue Formen von Kontrolle und Verwaltung. Buchhaltung, Rechnungsführung, Registratur, Volkszählung, Steuerveranlagung, kurz alles das, worauf die komplexer gewordenen Gemeinwesen und frühen Staaten basieren, ist ohne Schrift nicht möglich. Diese Staaten kannten keine freien Märkte, sondern nur das System einer auf genauer Planung und Bevorratung basierenden Speicher- und Versorgungswirtschaft, wie sie die Bibel im Zusammenhang der Joseph-Geschichte beschreibt. Die Wandbilder in den altägyptischen Gräbern stellen uns eine Welt vor Augen, die von Schrift und Schreibern dominiert war. Es gibt kaum einen Lebensbereich, der nicht auf irgendeine Weise mit der Schrift in Berührung kam. Es waren zwar nur wenige, die schreiben konnten, aber was „Schrift“ ist, war keinem Ägypter verborgen. Das war keine esoterische Kunst, von der das breite Volk sich nichts träumen ließ, sondern eine alltägliche Kulturtechnik, auf der der gesamte Staat mit allen seinen Wirt-

schaftszweigen und Institutionen beruhte und mit der jeder auf seine Weise zu tun hatte, auch wenn er selbst nicht schreiben konnte. So eng begrenzt vielleicht ihre aktive Beherrschung, so allumfassend und alldurchdringend war ihr Einfluß.

In den frühen Hochkulturen bildete die Bürokratie immer den Kernbereich der Schriftkultur. Hier entwickelte sie alle Raffinessen der Seitengestaltung, Tabellenschreibung, Verwendung verschiedenfarbiger Tinten usw., sowie die mit dem Schreiben eng verbundenen Künste des Zählens und Rechnens, des Kalenders und der Annalistik, kurz all das, wofür in Ägypten der Mond- und Schreiber-gott Thot zuständig ist, den die Griechen dem Hermes gleichsetzten und der dann als Hermes Trismegistos zum Inbegriff der Weisheit wurde. In der Götterwelt vereint Thot die Kompetenzen des höchsten Beamten (des Wesirs) und des höchsten Ritualisten. Zwischen den Amtsstuben und den Tempeln dürfen wir anfangs keine allzu scharfe Trennungslinie ziehen. Die Schreiber waren in beiden Bereichen tätig und wechselten wohl auch oft vom einen zum anderen. Auch im Tempel steht die Schrift im Dienst der Organisation präziser Abläufe. In beiden Bereichen fungiert die Schrift als Speicher und Stütze.

Am Beispiel von Schrift und Staat kann man sehen, daß die Schrift eine Grenzüberschreitung oder Horizonterweiterung ermöglicht: vom Dorf zur Stadt, von der *Face-to-face*-Gemeinschaft zur großräumigen politischen Organisation, von der Subsistenzwirtschaft zur Versorgungswirtschaft, eine Grenzüberschreitung, die im Alten Ägypten die Form eines Sprungs, einer unglaublich kurzfristigen und durchgreifenden Veränderung zu etwas qualitativ und quantitativ vollkommen Neuem angenommen hat.

3. Kunst und Unsterblichkeit

Grenzüberschreitend hat die Schrift auch in bezug auf die Grenze gewirkt, die dem menschlichen Leben gesetzt ist: den Tod. Auch hier hat die Schrift neue Räume einer, in diesem Fall nun vor allem *virtuellen* Realität erschlossen. Die Schrift macht es möglich, nicht nur Spuren zu hinterlassen, die die eigene Existenz überdauern, sondern Botschaften, die zur Nachwelt reden. Nicht jede Kultur hat von dieser Möglichkeit Gebrauch gemacht, und auch innerhalb einer Gesellschaft waren es immer nur wenige, die es darauf anlegten, im Medium ihrer Grabinschriften als virtuelle Sprecher den Nachgeborenen gegenwärtig zu bleiben. Das alte Ägypten ist auf diesem Weg der Selbstverewigung durch Selbstthematierung sicher am weitesten gegangen (ASSMANN 1983, 1987). Hier wurden die Gräber der hohen Beamten schon im Alten Reich, d. h. seit ca. 2700 v. Chr., mit Bildern und Texten dekoriert, in denen die Grabherren gegenüber der Nachwelt von ihrem Leben, ihren hohen Ämtern und vorbildlichen Tugenden Zeugnis ablegten in der Hoffnung, sich auf diese Weise einen dauernden Platz im Gedächtnis der Gemeinschaft zu sichern. Die Schrift diente in den Grabinschriften als eine künstliche Stimme, mithilfe derer der Grabherr auch über den Tod hinaus zu den Nachgeborenen sprechen wollte. Eine typische Form dieser Inschriften ist etwa der „Anruf an die Lebenden“: „O ihr Lebenden auf Erden, die ihr an diesem Grab vorbeigeht und seine Inschriften lest, sprecht ein Opfergebet für den verstorbenen NN. Ein Hauch des Mundes ist es ja nur, ohne Mühe für Euch, aber nützlich für den Verklärten ...“ Hier wäre vor allem das Element des Virtuellen hervorzuheben, die Idee, in einem Medium als Stimme und Gedächtnis fortzudauern, auch über den Zerfall des natürlichen Gedächtnisses und der natürlichen Stimme hinaus. Genau die gleichen Träume einer virtuellen Fortdauer sehen wir jetzt im Zusammenhang des neuen Mediums der digitalisierten „künstlichen Intelligenz“ und des Internets wieder aufle-

ben (HAYLES 2000, KRÜGER 2004). Das Internet erscheint als ein Raum, in den hinein man sich verkörpern kann in Form sogenannter „Avatare“, virtueller Personifikationen oder Doppelgänger, und auch wenn es hier vordringlich nicht um Ewigkeit und Unsterblichkeit, sondern um Selbstvervielfältigung und Multipräsenz geht, steht dahinter doch das Streben um mediengestützte Aufhebung der existentiellen Grenzen, um Erweiterung der Realität durch Virtualität. In diesem Sinne darf man vielleicht auch den extravaganten Gebrauch verstehen, den die Ägypter in ihren Gräbern von der Schrift gemacht haben.

Auf der Grundlage dieser Idee, im Medium seiner Grabinschriften im Gedächtnis der Nachwelt präsent zu bleiben, sind die Ägypter selbst bereits einen entscheidenden Schritt hinausgegangen und haben das literarische Werk als den unendlich viel besseren Weg zur Unsterblichkeit dargestellt. Der Autor eines guten Buches ist der bessere Grabherr; er hat sich ein Monument errichtet, das kein Zahn der Zeit zerstören kann. Auf dieses Motiv, das durch HORAZ berührt worden ist, stößt man bereits in einer ägyptischen Weisheitslehre aus dem 13. Jahrhundert v. Chr.

„[...] die weisen Schreiber seit der Zeit des Re,
[...] haben sich keine Pyramiden aus Erz gebaut
[...] sondern schufen sich Bücher als Erben
und Lehren, die sie verfaßt haben. [...] Heilskräftiger ist ein Buch als eine gravierte Stele
und als eine solide Grabwand.
Es errichtet diese Gräber und Pyramiden
im Herzen dessen, der ihren Namen ausspricht.
[...] Der Mensch vergeht, sein Leib wird zu Erde,
alle seine Angehörigen schwinden dahin.
Doch ein Buch bewirkt, daß er erinnert wird,
indem ein Mund es dem anderen weitergibt.
[...] Sie sind gegangen und ihre Namen wären vergessen,
aber das Buch ist es, das die Erinnerung an sie wachhält.“¹

Die Literatur erscheint hier als die Fortsetzung oder vielmehr Überbietung der Monumentalarchitektur, des „Ehernen“ bzw. „Steinernen“, mit anderen, geistigen Mitteln. Nicht die Schrift als solche, aber der literarische, philosophische, künstlerische Diskurs ist das Medium der Unsterblichkeit, er erschließt einen Raum der Unsterblichkeit, in den man sich als Autor eines Werkes hineinzustellen, hineinzuverkörpern hoffen kann. Bedenkt man jedoch die Art dieser Verkörperung, wird klar, daß es sich hier eher um einen Vorgang der „Exkarnation“ (ASSMANN 1993) als der Inkarnation handelt. Die Schrift erlaubt es, die im Autor verkörperte Gedanken- und Empfindungswelt herauszulösen, indem sie ihr einen Ersatzkörper verschafft, der der Vergänglichkeit des Fleisches enthoben ist.

Mit der Erfindung und dem Ausbau dieses künstlichen Gedächtnisses geht die Utopie der Unsterblichkeit einher, als der Wunsch, in diesem Gedächtnis einen dauernden Platz zu erringen. Eng mit der Idee der Unsterblichkeit verbunden sind die Ideen der Autorschaft und der Individualität. Dieser Komplex hat sich besonders eindrucksvoll in der ägyptischen Grabkultur herausgebildet. Die individuierende Auswirkung der Schrift auf den Schreibenden ist

¹ Papyrus Chester Beatty IV, verso 2,5–3,11 siehe BRUNNER 1988, S. 224–226, und ASSMANN 1991, S. 173–175.

eine andere der in ihr angelegten Möglichkeiten. Man kann sagen, daß die Schrift den Autor konstituiert; hierfür gibt es im Bereich der Mündlichkeit keine Parallele. Der Name HOMERS steht nicht für eine Person, sondern für eine Tradition, die unter seinem Namen kodifiziert wurde. Der Barde ist Träger der Überlieferung; seine Kreativität besteht darin, der Überlieferung, die durch ihn hindurchgeht, eine besonders eindrucksvolle, elaborierte Gestalt zu geben. Der Autor dagegen steht der Überlieferung gegenüber und muß sie überbieten. Von ihm wird nicht das Alte, sondern das Neue erwartet. Das ist nicht erst die Erfahrung der Moderne, sondern kommt schon in einem der ältesten Literaturwerke zum Ausdruck, die wir kennen, den um 1800 v. Chr. entstandenen Klagen des CHACHEPERRESENEB.

„O daß ich unbekannte Sätze hätte, seltsame Aussprüche,
neue Rede, die noch nicht vorgekommen ist,
frei von Wiederholungen,
keine überlieferten Sprüche, die die Vorfahren gesagt haben.
[...] keine Rede, von der man nachher sagen wird: ‚das haben sie früher gemacht‘.“²

In diesen Sätzen ist das Grundproblem der Schrift auf den Punkt gebracht. Im Gegensatz zum mündlichen Bardens kann sich der schriftliche Autor nicht auf die Tradition berufen, sondern muß sie aus Eigenem bereichern; das lateinische Wort *auctor* heißt ja „Vermehrer“. Er muß in sich selbst die Quelle des Neuen, Unerhörten suchen. So sagt CHACHEPERRESENEB, das Prinzip „Exkarnation“ auf den Punkt bringend: „Ich wringe meinen Leib aus und was in ihm ist und befreie ihn von allen meinen Worten.“

Das schreibende Ich ist ein anderes als das singende Ich. Es ist in einem ganz neuen Sinne „Ich“ und wird ebenso von seinem Text als dessen Autor hervorgebracht, wie es selbst diesen Text hervorgebracht hat.

Nun macht jedoch die Schrift das schreibende Ich zwar zum Autor, aber damit noch keineswegs unsterblich. Hierfür muß noch etwas Zweites hinzukommen, nicht im Sinne der notwendigen Konsequenz, sondern einer in der Schrift angelegten Möglichkeit. Das ist die Kanonisierung. Kanonisierung bedeutet, aus der immer unübersehbaren Fülle der Autoren einzelne Leuchttürme herauszuheben, die der weiteren Produktion und Rezeption als Vorbild und Maßstab den Weg weisen sollen (ASSMANN und ASSMANN 1987). Nicht schon durch schriftliche Aufzeichnung, sondern erst durch Kanonisierung ist HOMER unsterblich geworden. Der Kanon erschließt einen Raum virtueller Gleichzeitigkeit, der einen zum Gesprächspartner jahrtausendealter Vorgänger und fernster Nachgeborenen macht. So wie die Ägypter die Gräber der Vorfahren besuchten, las man im Abendland in den Schriften der griechischen und lateinischen Autoren und führte mit ihnen, über die Jahrtausende hinweg, ein Geistesgespräch. Martin OPITZ pries das „genüge und (die) ruhe, welche wir schöpfen auß dem geheimen gespreche und gemeinschaft der grossen hohen Seelen / die von soviel hundert ja tausend Jahren her mit uns reden“.³ Diesen Chrono-Topos einer über-lebenszeitlichen, ja Jahrtausende umfassenden Kommunikation erschließt erst der Kanon.

4. Geschichte

So wie die Schrift Grenzen überschreitet, zieht sie auch Grenzen. Eine solche durch die Schrift gezogene Grenze ist die schon erwähnte zwischen alt und neu, die es in dieser Form in der schriftlosen Welt nicht gibt. Eine andere Grenze ist die zwischen Mythos und Geschichte oder geglaubter und verbürgter Wahrheit. Damit komme ich zum dritten der durch die Schrift erschlossenen Wirklichkeitsbereiche: der Geschichte, als ein quellenkritischer Diskurs über die Vergangenheit als Raum menschlichen Handelns und Leidens, im Gegensatz zu den fundierenden Erzählungen des Mythos, denen jede Quellenkritik fremd ist, die auf ganz anderen Wahrheitskriterien beruhen und in denen nicht Menschen, sondern Götter die Hauptrolle spielen. Geschichte im Sinne eines quellenkritischen Diskurses kann es erst geben, seitdem es aussagekräftige Quellen gibt. Hier bedeutet die Erfindung und Verwendung der Schrift die entscheidende Epochenschwelle. Erst die schriftliche Quelle gibt verlässliche Kunde darüber, was, wann, wo, wem geschah. Ohne Archive ist keine Geschichtsschreibung möglich. Die Schrift fundiert einen Raum der nachprüfbaren Beurkundung, einen auf Tatsächlichkeit gegründeten Datenspeicher, dessen sich die Geschichte als Erzählung bedienen kann, um die Wahrheit über das Geschehene zu bekunden. So ist die Schrift die Bedingung der Möglichkeit von Geschichtsschreibung, und zwar im Sinne der Schriftlichkeit nicht nur der Erzählung, sondern auch und vor allem der Dokumente, auf denen diese basiert. Wenn man HERODOT und PLATON Glauben schenken darf, dann haben die Ägypter auf der Basis ihrer Archive ein spezifisch schriftgeprägtes Geschichtsbewußtsein entwickelt, das dem mündlich und mythisch geprägten, aristokratischen Herkunftsbewußtsein der Griechen widersprach. Als HEKATAIOS VON MILET, so erzählt uns HERODOT, nach Theben kam und den dortigen Priestern seinen Stammbaum bis zum sechzehnten Ahn, einem Gott, vorrechnete, führten ihn die Priester in den Tempel und zeigten ihm die dort aufgestellten Statuen. „Ihre Berechnung (schreibt HERODOT) war folgendermaßen. Von den Urbildern dieser Standbilder stamme immer einer von anderen, und im ganzen seien es dreihundertfünfundvierzig solche Standbilder, und trotzdem führe der Stammbaum nicht auf einen Gott oder Heros zurück. Das heißt also: in einem Zeitraum von 11340 Jahren haben nur menschliche Könige, nicht aber Götter in Menschengestalt, über Ägypten geherrscht.“ (HERODOT II, 143 übers. HORNEFFER 1955, S. 162.) Hier geht es nicht um Schrift, sondern um Statuen, aber diese Statuen haben wir uns beschriftet zu denken mit Texten, aus denen die Identität des Dargestellten hervorgeht, so daß sie als Geschichtsquellen gelten können. Noch deutlicher arbeitet PLATON den Unterschied zwischen griechischem und ägyptischem Geschichtsbewußtsein heraus. Hier ist es SOLON, der die Priester von Sais mit der griechischen Urgeschichte konfrontiert. „Ihr Griechen bleibt doch immer Kinder“, rufen die Priester aus, „und einen alten Griechen gibt es nicht“. Der Grund für die griechische Jugend liegt in den periodischen Katastrophen, die alles angehäuften Wissen wieder vernichten. In Ägypten dagegen wurde alles Bedeutende „insgesamt von alters her in den Tempeln aufgezeichnet und bleibt also erhalten. Ihr dagegen und die übrigen Staaten seid hinsichtlich der Schrift und alles anderen, was zum staatlichen Leben gehört, immer eben erst eingerichtet, wenn schon wiederum nach dem Ablauf der gewöhnlichen Frist wie eine Krankheit die Regenflut des Himmels über euch hereinbricht und nur die der Schrift Unkundigen und Ungebildeten bei euch übrigläßt, so daß ihr immer von neuem gleichsam wieder jung werdet und der Vorgänge bei uns und bei euch unkundig bleibt, soviel ihrer in alten Zeiten sich ereigneten. Wenigstens eure jetzigen Geschlechtsverzeichnisse, wie du sie eben durchgingst, unterscheiden sich nur wenig von Kindermärchen.“ (PLATON, Timaios 22b übers.

² Schreibtafel BM 5645 rto. 2-7 ed. GARDINER 1909, S. 97–101; LICHTHEIM 1973, S. 146f.; OCKINGA 1983.

³ OPITZ 1978, S. 331–416, 412f. Siehe ASSMANN 1999, S. 124–127.

SCHLEIERMACHER 1959, S. 149). Das griechische, mündlich verfaßte Geschichtsbewußtsein ist „jugendlich“, es geht immer schon nach einigen Generationen in Mythos über, während das ägyptische, schriftlich verfaßte Geschichtsbewußtsein auf „alter Überlieferung“ und „mit der Zeit ergrauter Kunde“ basiert, die viele Jahrtausende zurückreicht, ohne je in die mythische Welt der Götter überzugehen. Die alten Ägypter haben in der Tat über die Vergangenheit minutiös Buch geführt, und wir dürfen vermuten, daß die Archive des Tempels von Sais zum Zeitpunkt von SOLONS Besuch bis in die Tage von MENES zurückreichten, der um 3000 v. Chr. das Reich gegründet hat.

In diesem Sinne dokumentierter Vergangenheit und kritischer Überprüfbarkeit hat die Schrift die Geschichte hervorgebracht und den Mythos vertrieben oder zumindest in seinem Wahrheitsanspruch relativiert. Die Schrift sorgt dafür, daß, wo Mythos war, Geschichte entstand, weil sie Verhältnisse dokumentierte, in denen nicht Götter, sondern Menschen herrschten und die Menschen für ihre Taten verantwortlich waren. Die Schrift verleiht der Erinnerung die Eigenschaft der Überprüfbarkeit und damit ihrem Wahrheitsanspruch die zusätzliche Eigenschaft eines Wahrheitswertes, der dem Mythos abgeht.

5. Religion

Mit genau dem gleichen mythenkritischen Pathos eines neuen Wahrheitswertes tritt die Schrift auch im Bereich der Religion auf. Hier stützt sich ihr Anspruch auf eine Offenbarung, die sie verbrieft und verbürgt. Alle Offenbarungsreligionen – Judentum, Christentum, Islam, Buddhismus, Jainismus, die Religion der Sikh – basieren auf einem Kanon heiliger Schriften, die den Willen ihres Stifters und die höhere Wahrheit seiner Offenbarungen kodifizieren. Hier stoßen wir also wieder, in anderem Zusammenhang und in anderem Sinne, auf das Prinzip Kanon, dem wir schon im Zusammenhang der Autorschaft und der Literatur begegnet sind. Auch hier bedeutet Kanon die Auswahl des zeitlos Maßgeblichen und Hochverbindlichen aus der Fülle des Geschriebenen. Das Kriterium der Auswahl freilich ist ein anderes: hier geht es um eine höhere Wahrheit. Auch hier zieht also die Schrift in der Steigerungsform des Kanons eine Grenze. Denn erst diese in einem ganz neuen Sinne schriftgestützten Religionen ziehen die Grenze zwischen wahrer und falscher Religion und konstruieren die Umwelt der anderen Religionen als „Heidentum“, Unwahrheit, Unglauben und Irrtum (ASSMANN 2003). Grenzen zwischen dem Eigenen und dem Fremden hat es immer gegeben, aber diese Grenze im Zeichen der Wahrheit ist etwas radikal Neues und ohne die Schrift und das auf ihr aufbauende Prinzip Kanon nicht denkbar. Erst die kanonisierte Schrift schafft die Bedingung dafür, daß eine Religion sich auf eine höhere, geoffenbarte Wahrheit berufen und alles andere zu sich in die Beziehung der Unwahrheit setzen kann. Offenbarungsreligionen sind Schrift- bzw. Buchreligionen.

Buchreligionen kehren das Verhältnis von Text und Ritus um. Beruhen in den Kultreligionen die „konnektiven Strukturen“, die die identische Reproduktion der Kultur über die Generationenfolge hinweg sicherten, in allererster Linie auf dem Prinzip ritueller Wiederholung, so beruhen sie in den Buchreligionen auf dem Prinzip der Auslegung der kanonischen Texte. Am klarsten tritt dieser Wandel in der unterschiedlichen Form hervor, in der die Mitglieder von Kult- und von Buchreligionen an der Überlieferung partizipieren.

Bereits der jüdische Historiker JOSEPHUS FLAVIUS hat im 1. Jahrhundert n. Chr. den Unterschied zwischen Kultreligion und Buchreligion oder „ritueller“ und „textueller Kontinuität“

auf den Punkt gebracht, wenn er Judentum und Hellenismus gegenüberstellt: „Wenn alle Schichten des Volkes zur Frömmigkeit erzogen werden, wenn die Pflege der letzteren vornehmlich den Priestern anvertraut ist – sieht das nicht aus, als ob das gesamte öffentliche Leben eine einzige heilige Festfeier wäre? Was die Heiden unter dem Namen Mysterien und Weihen nur in wenigen Tagen begehen, ohne es jedoch dauernd in ihren Herzen bewahren zu können, daran halten wir mit unendlichem Entzücken und unverrückten Sinnes allezeit fest.“⁴

Die Heiden warten bis zur nächsten Durchführung des Rituals, aber die Juden sind im ständigen Besitz ihrer kulturellen Texte, weil sie in „öffentlichem Unterricht“ von den Priestern darin unterwiesen werden. Ihre „Mysterien“ sind permanent und kontinuierlich. Sie bestehen in der von priesterlicher Auslegung geleiteten Lektüre der heiligen und kulturellen Texte. Je mehr eine Gesellschaft durch Schrift bestimmt ist, desto weniger spielen die Riten in ihr eine Rolle. Den entscheidenden Wandel in dieser Hinsicht hat aber nicht die Erfindung der Schrift, sondern der Buchdruck herbeigeführt, weil erst er als ein Verbreitungsmedium die Partizipationsstruktur drastisch verändert hat (EISENSTEIN 1979).

Vielleicht darf man sogar noch einen Schritt weitergehen. Buchreligionen verändern nicht nur die Struktur der kulturellen Kohärenz, von ritueller zu textueller Kontinuität, und sie ziehen nicht nur eine Grenze zwischen sich und den anderen Religionen, die sie als Grenze zwischen Wahrheit und Unwahrheit interpretieren. Vielleicht zieht in diesem Funktionszusammenhang die Schrift sogar die entscheidendste aller Grenzen: die Grenze zwischen Gott und Welt.

Die Verschriftung der Offenbarung führt letztlich zu einer Ausbürgerung des Heiligen aus der Welt, einerseits in die Transzendenz und andererseits in die Schrift. Die Kultreligionen setzen das Heilige als auf vielfältigste Weise innerweltlich, in der Welt anwesend voraus, in Bildern, Bäumen, Bergen, Flüssen, Gestirnen, Tieren, Menschen und Steinen. Das alles wird in den Buchreligionen als Idolatrie, Götzendienst, Fetischismus gebrandmarkt. Moses Zorn beim Anblick des orgiastischen Tanzes ums Goldene Kalb fängt diesen Gegensatz mit der Prägnanz einer Urszene ein. Die Schrift in seinen Händen (die Tafeln mit den Zehn Geboten) und die Szene vor seinen Augen erweisen sich als inkompatibel. *Diese* Schrift und *dieser* Kult bilden einen unversöhnlichen Gegensatz.

Die Dinge dieser Welt und insbesondere die Bilder stellen Fallstricke dar, um die Aufmerksamkeit von der Schrift abzuziehen. Die Schrift fordert eine grundlegende Umlenkung der Aufmerksamkeit, die ursprünglich auf Erscheinungen dieser Welt und das in ihnen sich zeigende Heilige gerichtet war und nun ganz auf die Schrift und ihre Auslegung konzentriert wird. Wo Bild war, soll Schrift werden. Vieles spricht dafür, daß der jüdische Monotheismus, das Prinzip der Offenbarung und der aus diesem Prinzip entwickelte und sich immer mehr steigernde Abscheu gegen traditionelle Formen des Kultes aus dem Geist der Schrift geboren ist. Der Schritt in die Religion der Transzendenz war ein Schritt aus der Welt – man möchte fast von einer Auswanderung, einem Exodus, sprechen – in die Schrift (HALBERTAL 1997). Die Welt wird als solche zum Gegenstand der Idolatrie erklärt und diskreditiert. Der radikalen Außerweltlichkeit Gottes entspricht die radikale Schriftlichkeit seiner Offenbarung.

Ohne die Kulturtechniken der Schrift und der Hermeneutik wäre das, was man im 18. Jahrhundert „positive Religion“ nannte und der „natürlichen Religion“ als etwas Artefizielles gegenüberstellte, nicht denkbar. Dem prophetischen Monotheismus mangelt es an natürlicher Evidenz; er wandelt, wie *Paulus* sagt, nicht in der Schau, sondern im Glauben (2 Kor 5,7).

⁴ *Josephus Flavius, Contra Apionem* cap. 22, in: CLEMENTZ 1993, 177f.

Der Glaube stützt sich auf die Schrift, auf den verbrieften Bund und das Gesetz. Der Kult stützt sich auf den Akt, den Vollzug, die Schau. Die Schrift führte zu einer Entritualisierung und Enttheatralisierung der Religion.

So hat die Schrift uns und unsere Welt verändert. Sie hat Grenzen überschritten und Grenzen gezogen. Mit der Überschreitung der Grenzen unseres Gedächtnisses und unserer Stimme hat sie die Bildung großräumiger politischer und wirtschaftlicher Organisationsformen ermöglicht und die Idee der Kultur als eines Jahrtausende umfassenden Gedächtnisses und Kommunikationsraums entstehen lassen, angesichts dessen die Menschen von Unsterblichkeit und Fortdauer träumen konnten. Mit der Aufrichtung der Grenzen zwischen dem Alten und dem Neuen sowie dem Geglauten und dem Verbürgten hat sie einen neuen, kritischen Wahrheitsbegriff geschaffen und eine Ideenevolution in Gang gesetzt. Mit der Aufrichtung der Grenze schließlich zwischen Buchreligion und Kultreligion, *scriptura* und *natura*, offenbarer und natürlicher Religion, Monotheismus und Kosmotheismus hat sie die Dynamik der abendländischen Religionsgeschichte bestimmt.

Literatur

- ASSMANN, A.: Exkarnation: Über die Grenze zwischen Körper und Schrift. In: MÜLLER, A. M., und HUBER, J. (Eds.): Interventionen. S. 159–181. Basel 1993
- ASSMANN, A.: Zeit und Tradition. Kulturelle Strategien der Dauer. Köln, Weimar, Wien: Böhlau 1999
- ASSMANN, A., und ASSMANN, J.: Schrift. In: HWbPh8, Sp. 1417–1429 (1993)
- ASSMANN, A., und ASSMANN, J. (Eds.): Kanon und Zensur. Archäologie der literarischen Kommunikation II. München: Fink 1987
- ASSMANN, J.: Schrift, Tod und Identität. Das Grab als Vorschule der Literatur im alten Ägypten. In: ASSMANN, A., und ASSMANN, J. (Eds.): Schrift und Gedächtnis. Archäologie der literarischen Kommunikation I. S. 64–93. München: Fink 1983; wiederabgedruckt in: ASSMANN, J.: Stein und Zeit. Mensch und Gesellschaft im Alten Ägypten. S. 169–199. München: Fink 1991
- ASSMANN, J.: Sepulkrale Selbstthematization im alten Ägypten. In: HAHN, A., und KAPP, V. (Eds.): Selbstthematization und Selbstzeugnis: Bekenntnis und Geständnis. S. 208–232. Frankfurt (Main): Suhrkamp 1987
- ASSMANN, J.: Die ägyptische Schriftkultur. In: GÜNTHER, H., und LUDWIG, O. (Eds.): Schrift und Schriftlichkeit/Writing and its Use: Ein interdisziplinäres Handbuch internationaler Forschung. 1. Halbband, S. 472–491. Berlin, New York: de Gruyter 1994
- ASSMANN, J. Die Mosaikische Unterscheidung oder der Preis des Monotheismus. München: Hanser 2003
- BRUNNER, H.: Altägyptische Weisheit. Zürich u. a.: Artemis-Verlag 1988
- EISENSTEIN, E.: The Printing Press as an Agent of Change. Communications and Cultural Transformations in Early-modern Europe. Cambridge: Cambridge University Press 1979
- GARDINER, A. H.: The Admonitions of an Egyptian Sage; pp. 97–101. Leipzig: Hinrichs 1909
- GOODY, J. (Ed.): Literacy in Traditional Societies. Cambridge: Cambridge University Press 1968
- GOODY, J.: Entstehung der Schriftkultur. Mit einer Einleitung von H. SCHLAFFER. Frankfurt (Main): Suhrkamp 1986
- HAARMANN, H.: Universalgeschichte der Schrift. Frankfurt, New York: Campus-Verlag 1990, ²1991
- HALBERTAL, M.: People of the Book. Canon, Meaning, and Authority. Cambridge (Mass.): Harvard University Press 1997
- HAVELOCK, E.: Die Schriftrevolution im antiken Griechenland. Weinheim: VCH, Acta Humaniora 1990
- HAYLES, K. N.: How We Became Posthuman. Virtual Bodies in Cybernetics, Literature, and Informatics. Chicago, London: University of Chicago Press 2000
- HERODOT: Historien. Übers. von A. HORNEFFER. Stuttgart: Kröner 1955
- JOSEPHUS FLAVIUS: Contra Apionem. Übers. von H. CLEMENTZ. In: JOSEPHUS FLAVIUS: Kleinere Schriften. Wiesbaden: Fourier 1993
- KRÜGER, O.: Virtualität und Unsterblichkeit. Die Visionen des Posthumanismus. Freiburg: Rombach 2004
- LEROI-GOURHAN, A.: Le Geste et la parole. I: Technique et langage. II: La mémoire et les rythmes. Paris: Michel 1964–1965
- LICHTHEIM, M.: Ancient Egyptian Literature I. Berkeley: University of California Press 1973
- LORENZER, A.: Das Konzil der Buchhalter: Die Zerstörung der Sinnlichkeit. Frankfurt: Europäische Verlagsanstalt 1981

- MENDELSSOHN, M.: Jerusalem oder über religiöse Macht und Judentum. In: MENDELSSOHN, M.: Schriften über Religion und Aufklärung. Hrsg. von M. THOM. Berlin: Union-Verlag 1989
- OCKINGA, B. G.: The burden of Khackheperrecsonbu. JEA 69, 88–95 (1983)
- OPITZ, M.: Buch von der Deutschen Poeterey. In: OPITZ, M.: Gesammelte Werke. Kritische Ausgabe. Bd. II: Die Werke von 1621 bis 1626. Hrsg. von G. SCHULZ-BEHREND. Stuttgart 1978
- PLATON: Timaios. Übers. von F. SCHLEIERMACHER. Reinbek b. Hamburg: Rowohlt 1959

Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Jan ASSMANN
 Universität Heidelberg
 Ägyptologisches Institut
 Marstallhof 4
 69117 Heidelberg
 Bundesrepublik Deutschland
 Tel.: +49 6221 542533
 Fax: +49 6221 542551
 E-Mail: Jan.Assmann@urz.uni-heidelberg.de

Bilder in Evolution und Evolutionstheorie

Horst BREDEKAMP (Berlin)

Mitglied der Akademie

Mit 14 Abbildungen



Zusammenfassung

Mit dem Zusammenhang von „Evolution und Bild“ wird in der Regel die anthropologische Frage nach dem Anteil der Bildproduktion an der Ausbildung von Bewußtsein verbunden. Je nach Ausgangskriterium differieren Antworten jedoch um teils Hunderttausende von Jahren. Der Vortrag soll die Kriterien der unterschiedlichen Ansätze vorstellen. Sein Gewicht aber wird auf zwei Problemen der Evolutionstheorie CHARLES DARWIN'S liegen. Das erste berührt Versuche, die Theorie der Evolution selbst zu visualisieren. Bis heute konkurrieren bewußt oder unbewußt verschiedene Bildmetaphern der Evolution zwischen Bäumen, Korallen und Seetang. Der zweite, bis heute unerledigte Komplex berührt DARWIN'S Theorie der „Sexual Selection“, die er als Komplement zu seiner Theorie der „Natural Selection“ für unabdingbar hielt. In ihr spielen von Tieren am Körper entfaltete Bilder die entscheidende Rolle. Hierin könnte der Grund liegen, daß diese Theorie bis heute ausgeblendet, bekämpft oder durch die Theorie der „ehrlichen“ Ornamentierung neutralisiert wurde. Möglicherweise hat ein tiefsitzendes Mißtrauen gegenüber Bildern dazu geführt, daß eine der irritierendsten Ideen DARWIN'S weitestgehend ausgeblendet wurde. Ihrem eigenen Anspruch zufolge legt diese die Frage nach der Rolle der Bilder in der Evolution von dem späten Stadium der Menschwerdung in die animalische Formbildung zurück, mit weitreichenden Folgen für die Bestimmung von Bewußtsein.

Abstract

The article questions the importance of the image for evolution. As a starting point it takes man's ability of creating pictorial works which, beside a functional sense, have a semantic-representative function as well. Currently this experience is being pushed back as far away by scientists as for instance CHRISTOPHER HENSHILWOOD that the question looms on the horizon whether the capacity of creating images is more than the border which distinguishes men from animals. In a second step the article investigates the function of the image for the theory of evolution. It tries to show that initially not the tree, but the coral was the more appropriate image for DARWIN. With DARWIN'S observations that the coral are architects of highest quality the third part returns to the initial problem. Above all it refers to DARWIN'S mostly underestimated concept of "Sexual selection" which is to be put complementary side by side with the concept of "Survival of the fittest". By assuming the ability of producing images developed outgoing from the animals' bodies, DARWIN is one of the representatives of the theory that images have a major if not even a decisive impact on evolution. By pointing out this fact the lecture invites to the suggestion of completely rethinking DARWIN'S theory, which he formulated in the second part of "Descent of Man".

1. Menschwerdung durch Bilder?

Was ein „Bild“ sei, gehört zu den unablässig gestellten, aber niemals abschließend zu beantwortenden Fragen, weil der deutsche Sprachraum im Gegensatz zum Englischen zwischen dem „image“ der mentalen Vorstellung und dem materiellen „picture“ nicht unterscheidet. Der Mathematiker und Künstler LEON BATTISTA ALBERTI hat im 15. Jahrhundert jedoch eine so einfache wie gültige Bestimmung des Bildes in seiner objektiven Bedeutung als materielles Gebilde gegeben: von einem Bild sei zu sprechen, sowie ein Naturgebilde durch ein Minimum an Eingriff zu einer gleichsam humanisierten Form geworden sei.¹ Ich übernehme zunächst diese Definition, weil sie als sinnfälliges Indiz der Evolution des Menschen gilt.

Vor gut einem Jahr ging das Foto einer Reihe von Muscheln durch die Presse, die zu den frühesten Kunstformen des Indischen Ozeans gehören sollen (Abb. 1).² Die Einzelstücke besitzen sämtlich an etwa derselben Stelle Löcher, die durch Druck oder Schlag erzeugt worden sind. Zwei oder drei ähnlich gestaltete Objekte könnten zufällig entstanden sein; die Zahl von sechs Muscheln gibt dem kritischen Betrachter aber die Gewißheit, daß hier die Elemente einer Schmuckkette vorliegen. Eine fundamentale Bedingung, ein Bild als Bildwerk auszuwei-



Abb. 1 Muscheln der Art *Nassarius kraussianus*, Blombos-Höhle, Südafrika

1 ALBERTI 2000, S. 142.

2 D'ERRICO et al. 2005, Abbildung nach BAHNSEN 2005, S. 547.

sen, liegt darin, eine so große Vergleichsreihe zusammenzustellen, daß eine zufällige Bildung auszuschließen ist.

Durch große Mengen von Objekten ist es möglich geworden, die Formen humanoider Artefakte bis auf Vorstufen des *Homo erectus* zurückzuverfolgen. Etwa drei Millionen Jahre reicht die Fähigkeit des *Homo habilis* zurück, etwa Basaltstücke durch Hausteine zu begradi- gen und in eine bauchige, nach oben hin zugespitzte Form zu bringen, die vielseitig einzusetzen war.³

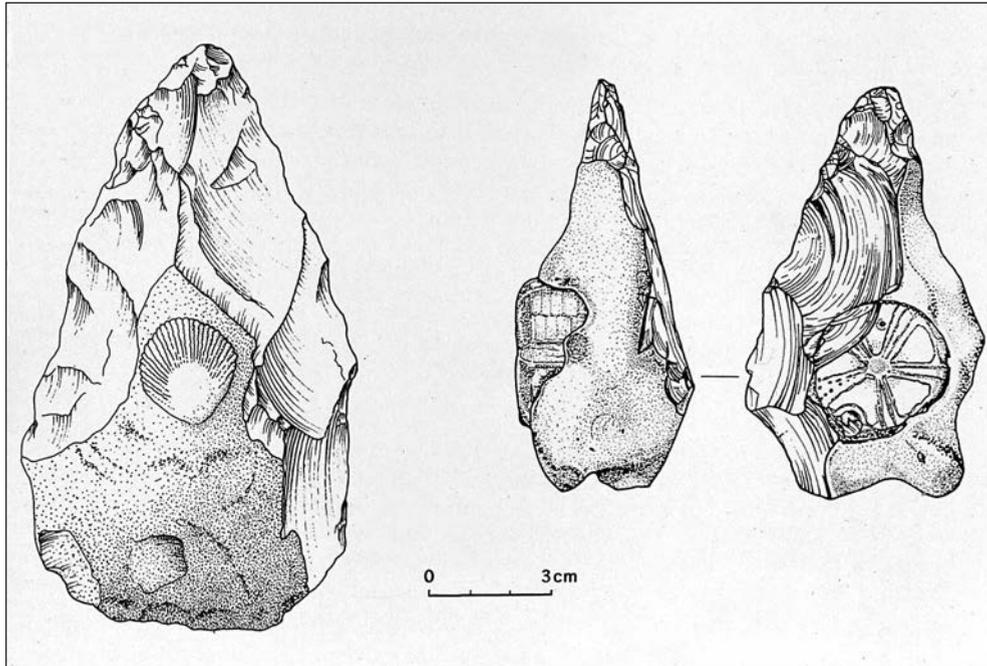


Abb. 2 Faustkeile mit Fossilien, entnommen aus LORBLANCHET 1999, S. 90

Daß bereits vor mehr als 100 000 Jahren das Bewußtsein einer „ästhetischen Differenz“⁴ vorhanden war, belegen Sammlungen von Fossilien, die durch rahmende Gestaltung als Bild im Bild hervorgehoben waren (Abb. 2).⁵ Derartige mit Finesse symmetrisch gestaltete Formen sind zu markanten Indizien der Evolution geworden: Mensch ist, wer auf Naturgebilde mit eigenen Bildern zu reagieren vermag.

Ein entsprechend großes Interesse erwecken immer wieder Gegenstände aus der Frühzeit des *Homo sapiens sapiens*. So ging kürzlich die Photographie eines bei Blaubeuren gefundenen, um 30 000 v. Chr. extrem glatt geschliffenen Steines durch die Presse, der von dem Tübinger Forscher Nicholas CONRAD aufgrund seiner Querritzung als Phallussymbol gedeutet wurde (Abb. 3).⁶

3 VOLAND und GRAMMER 2003, S. 260ff.

4 BOEHM 1994.

5 LORBLANCHET 1999, S. 82, 89ff.

6 *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 26. 7. 2005, Nr. 171, S. 33.



Abb. 3 Steinerne Phallusfigur, Fund aus der Höhle „Hohle Fels“ bei Schelkingen

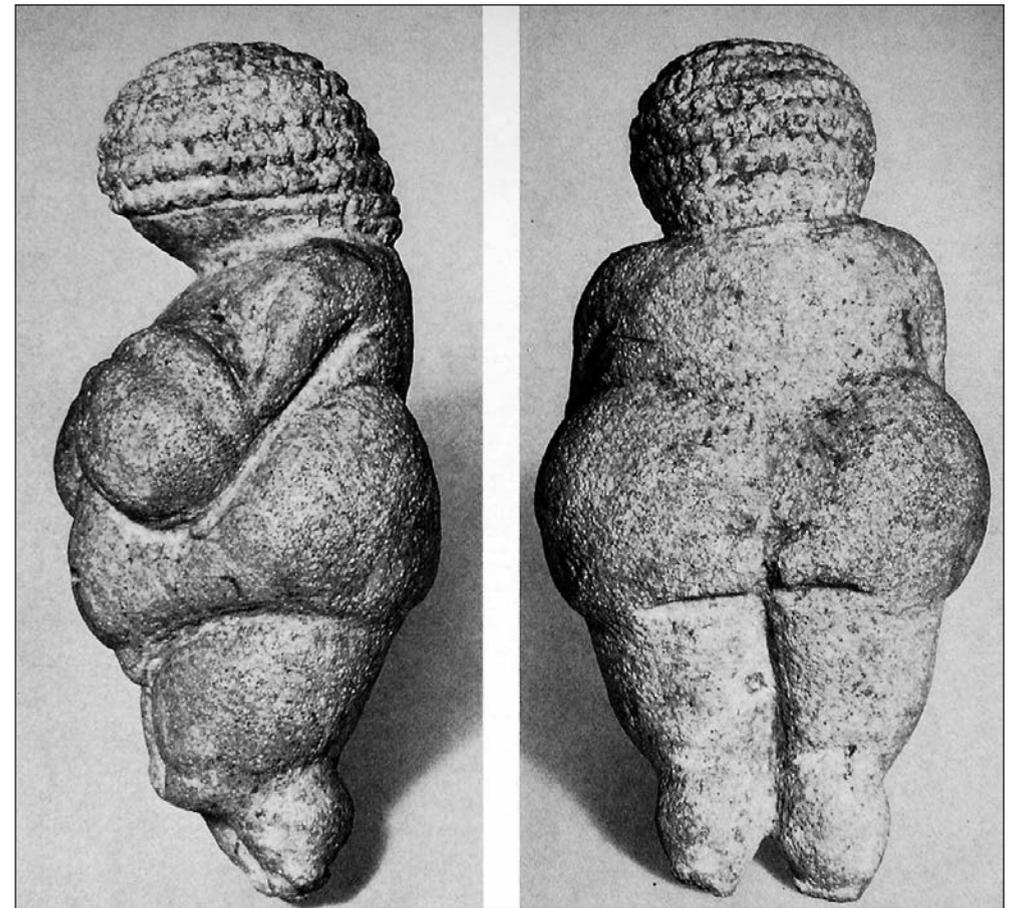


Abb. 4 Sogenannte Venus von Willendorf, Kalkstein, um 23000 v. Chr., Wien, Naturhistorisches Museum

Derartige Artefakte bestechen durch ihre formalisierte Gestaltung, wie sie etwa die sogenannte Venus von Willendorf aufweist, die als eines der herausragenden Werke der gesamten Kunstgeschichte gilt (Abb. 4). In der Tat erweckt die Behutsamkeit, mit der ein gegebener Stein so weit abgetragen und eingeritzt wurde, daß er die Formen einer voluminösen Frau erhielt, seine ursprüngliche Form aber noch erahnen läßt, durchaus Bewunderung.⁷

Dasselbe gilt für die vor dreißig- bis zehntausend Jahren gefertigten Tiere der südfranzösischen und nordspanischen Höhlenmalereien, die in ihrer unangestregten, lässig wirkenden Sicherheit und Verknappung eine verblüffend zeitlose Modernität vorzutragen scheinen. Aber gerade diese Malereien, etwa der Höhle von Lascaux, zeigen Überlagerungen, die auf unterschiedliche Eintragungsschichten und differente Stile schließen lassen (Abb. 5).⁸ Sie machen erneut spezifische Stil- und Formvermögen deutlich, deren innere Differenz zur Grundvoraussetzung jeder historischen Begriffsbildung gehören.



Abb. 5 Felsenmalerei, um 15000 v. Chr., Höhle von Lascaux, Südfrankreich

7 MELLINK und FILIP 1985, S. 276, Nr. 257a und b.

8 ONIANS 2004, S. 15. Vgl. LORBLANCHET 1995 und DELLUC und DELLUC 2003.

Die Evolution des Menschen ist wohl durch kein anderes Phänomen umfassender zu erschließen als durch seine Bildwerke. In ihnen äußert sich eine Formgeschichte, in der sich nicht nur die Evolution des Menschen, sondern auch einer zweiten, von ihm geschaffenen Bildnatur verwirklicht. Hierin liegt das herrschende Programm des Zusammenhanges von Bild und Evolution des Menschen, wie es kürzlich John ONIANS im *World Atlas of the Arts* betont hat: „Künstlerische Tätigkeit liegt in der Natur des Menschen [...]. Allein der Mensch besitzt die Fähigkeit, Kunst zu schaffen.“⁹

2. Bildwerdung der Evolutionstheorie

Charles DARWIN jedoch hat genau diese Trennung bestritten. Er fragt zunächst nicht nach der Rolle der Bilder in der Evolution, sondern nach der bildhaften Darstellung ihrer Theorie. Erst aus dieser Erörterung ergibt sich ein Lösungsvorschlag für das Problem der Bilder an sich.

DARWIN geht von der Überzeugung aus, daß die Evolution, weil sie zu komplex ist, um in all ihren Facetten unmittelbar begreiflich zu sein, mit Hilfe von Modellbildern erfaßt werden muß. Es ist symptomatisch, daß er das Prinzip der Evolution ein einziges Mal konzise zusammengefaßt hat, indem er nicht die Natur, sondern das Bilddiagramm der *Origin of Species* beschrieben hat.¹⁰ In diesem Sinn ist das hieroglyphische Diagramm der *Origin of Species* eine seiner folgenreichsten Schöpfungen (Abb. 6). Wenn seit geraumer Zeit von einem *iconic turn* gesprochen wird, so war DARWIN dessen biowissenschaftlicher Antreiber.¹¹

Unten ansetzend, hat DARWIN zunächst die unterbrochenen Linien als Stränge sich durchsetzender Arten bestimmt.¹² Die horizontalen Schichten I bis X zeigen DARWIN zufolge, wie die beiden dominanten Arten A und I immer neue Varianten ihrer selbst hervorbringen. Die römischen Ziffern kennzeichnen jeweils Einschnitte, an denen nach dem Ablauf einer fiktiven Setzung von eintausend Generationen signifikante Veränderungen eintreten. Es sind idealtypische, millenarische Größen, denen zufolge sich nach zehn Etappen schließlich auf der Linie X drei neue Arten a¹⁰, f¹⁰ und m¹⁰ ergeben. Im oberen Register schließlich, das die Entwicklungsstränge erneut zu stärkeren Linien verdickt und begradigt, zeigt sich, daß die beiden Arten A und I ihre Nachbarn ausgelöscht haben, so daß neben der stabilen Art F nur mehr Varianten dieser beiden dominanten Spezies übrig bleiben.

DARWIN'S Diagramm schien die Abstraktion eines Baumes, zumal er zu Ende des Kapitels eine hymnische Anrufung eben des Baumes als Modell der Evolution formuliert hat.¹³ Die Triebe wachsen ihm zufolge nach allen Seiten, „um die Zweige und Äste der Umgebung in der großen Schlacht des Lebens zu übertrumpfen und zu töten“.¹⁴ Während die grünen Zweige die noch im Lebenskampf befindlichen Arten darstellen, repräsentieren die verdorrten die ausgestorbenen Spezies. Wie beim Wachstum eines Baumes „war es bei dem großen Baum

9 ONIANS 2004, S. 14.

10 DARWIN 2001 [1964], S. 116–126; vgl. S. 431.

11 BOEHM 1994.

12 Während A bis D und G bis L in ihren nach innen gerichteten Linien auf ein gemeinsames Urelternpaar zurückweisen, laufen die Arten E und F in sich stabil durch die Abfolge der Generationen, ohne sich einander anzunähern.

13 „The affinities of all the beings of the same class have sometimes been represented by a great tree. I believe this simile largely speaks the truth.“ (DARWIN 2001 [1964], S. 129)

14 „[...] to overtop and kill the surrounding twigs and branches [...] in the great battle for life“ (DARWIN 2001 [1964], S. 129).

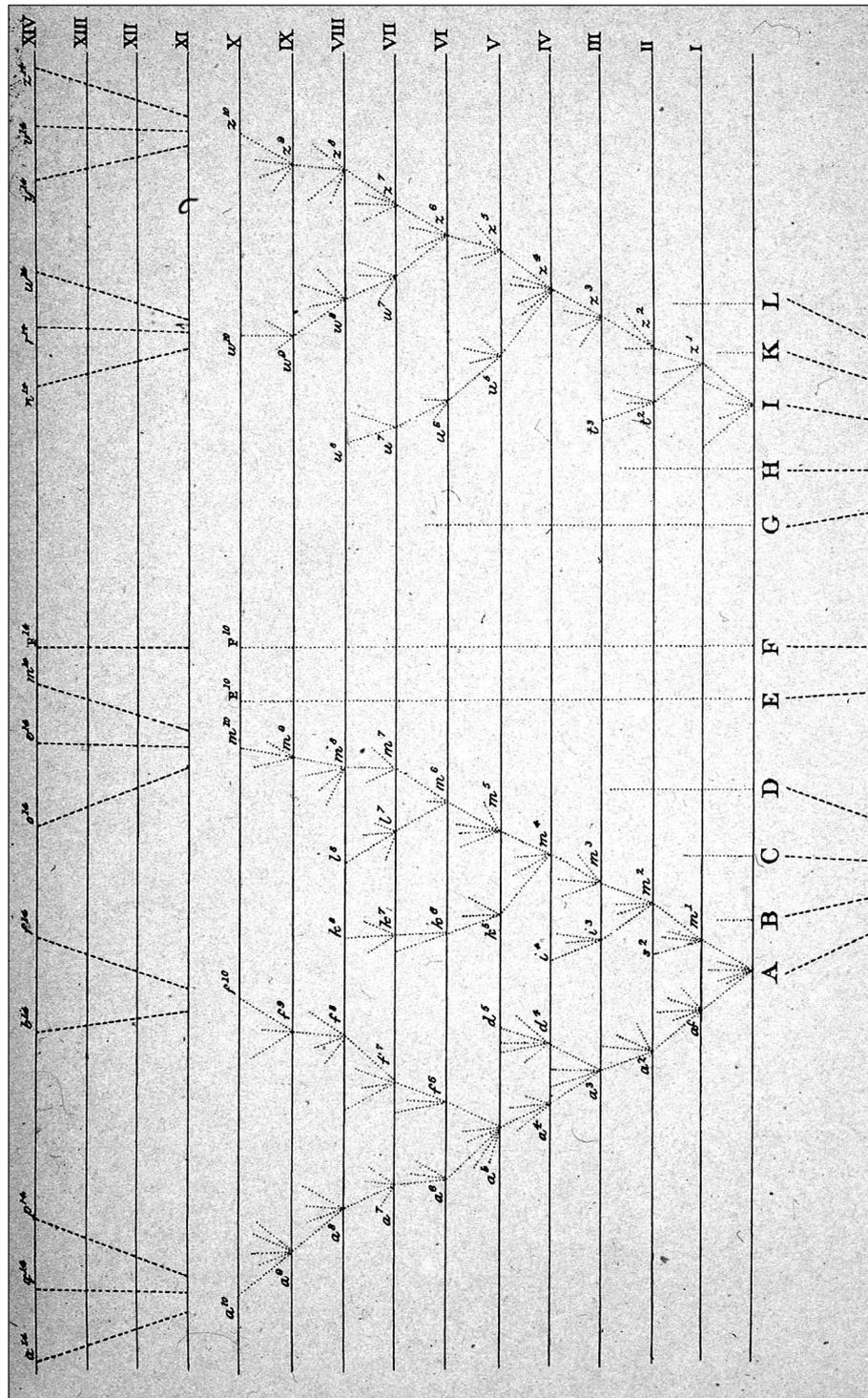


Abb. 6 Charles DARWIN, Diagramm der *Origin of Species*, 1859

des Lebens, der mit seinen toten und abgestorbenen Ästen die Erdrinde füllt und die Oberfläche mit seinen unaufhörlich sich verzweigenden und wunderschönen Verästelungen bedeckt“.¹⁵

Ernst HAECKEL hat dieses Bild popularisiert,¹⁶ und es ist die Ikone des Darwinismus geblieben.¹⁷ Baum und Diagramm passen aber keinesfalls zusammen. Im Baummodell hat DARWIN die aussterbenden Arten als abgebrochen auf dem Boden liegende Äste metaphorisiert, die in den Erdboden versinken und dort Fossilien bilden. Die toten, im Überlebenskampf unterlegenen Spezies liegen im Diagramm dagegen nicht am Boden, sondern stehen nach oben, als wollten sie die Arme in Totenstarre in die Luft heben. In der Differenz dieser Konzepte, die fossile Überlieferung bildhaft einzufassen, liegt der Grund, warum sich das Diagramm mit dem Baummodell nicht verträgt. Beide Modelle formulieren unterschiedliche Metaphern, die einander aus der Logik ihrer Anlage ausschließen. Aus diesem Grund hat DARWIN vermieden, beide miteinander zu verbinden.¹⁸ Wo er das Diagramm beschreibt, vermeidet er peinlich den Hinweis auf den Baum, und wo er das Baumbild evoziert, blickt er auf das Diagramm mit keinem Blick zurück. Beide bilden Alternativen der Metaphorik. Was also bedeutet das Diagramm der Evolution?

Das Element seines Geästes besteht aus aufstrebenden, sich auffächernden Punktreihen (Abb. 7). Diese gehen auf DARWINs erste Visualisierungen der Evolution zurück, die er in den Notebooks von 1837 festgehalten hat (Abb. 8). Mit der Verwendung von Punkt, Linie und Fläche wurden sie das Muster jahrzehntelanger Überlegungen. Die obere Zeichnung zeigt unten

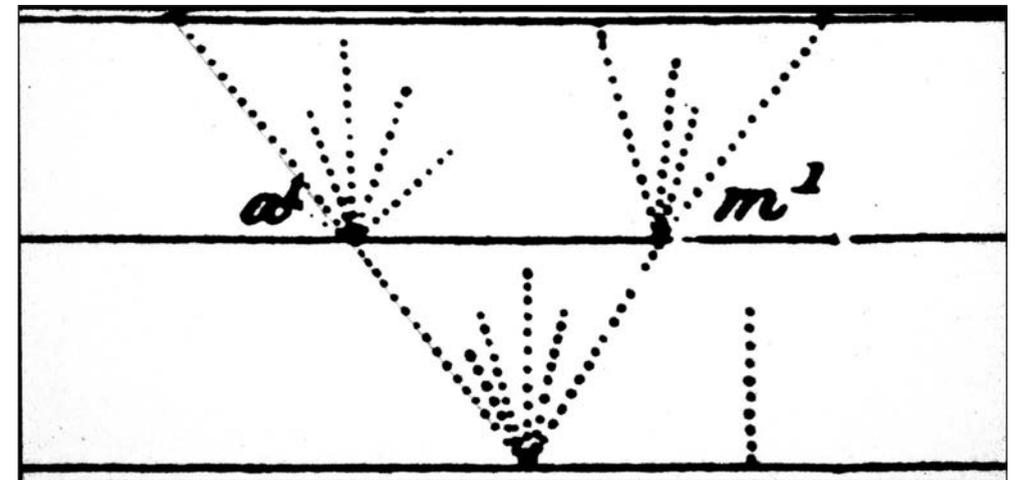


Abb. 7 Ausschnitt aus Abb. 6

15 „[...] it has been with the great Tree of Life, which fills with its dead and broken branches the crust of the earth, and covers the surface with its ever branching and beautiful ramifications“ (DARWIN 2001 [1964], S. 130).

16 HAECKEL 1866, Bd. II, S. 397–399; Tafeln I–VIII. Vgl. KLEEBERG 2005, S. 159–164.

17 MARSHALL GRAVES 2003. Selbst noch Stephen Jay GOULDS Alternativkonzept des Wechsels von langen Zeiten der Stabilität und abrupten Sprüngen (*punctuated Equilibrium*) sieht sein Schema als einen arboresken Antipoden (DENNETT 1995, S. 283).

18 Es kommt hinzu, daß sich gerade DARWINs so narrativer, scheinbar zur Verbildlichung drängender „Baum des Lebens“ der Visualisierung sperrt, weil er den Zyklus der Jahreszeiten mit der linear ablaufenden Geschichte des Lebens auf dem Globus verbindet (PÖRKSEN 1998, S. 321–347, S. 329).

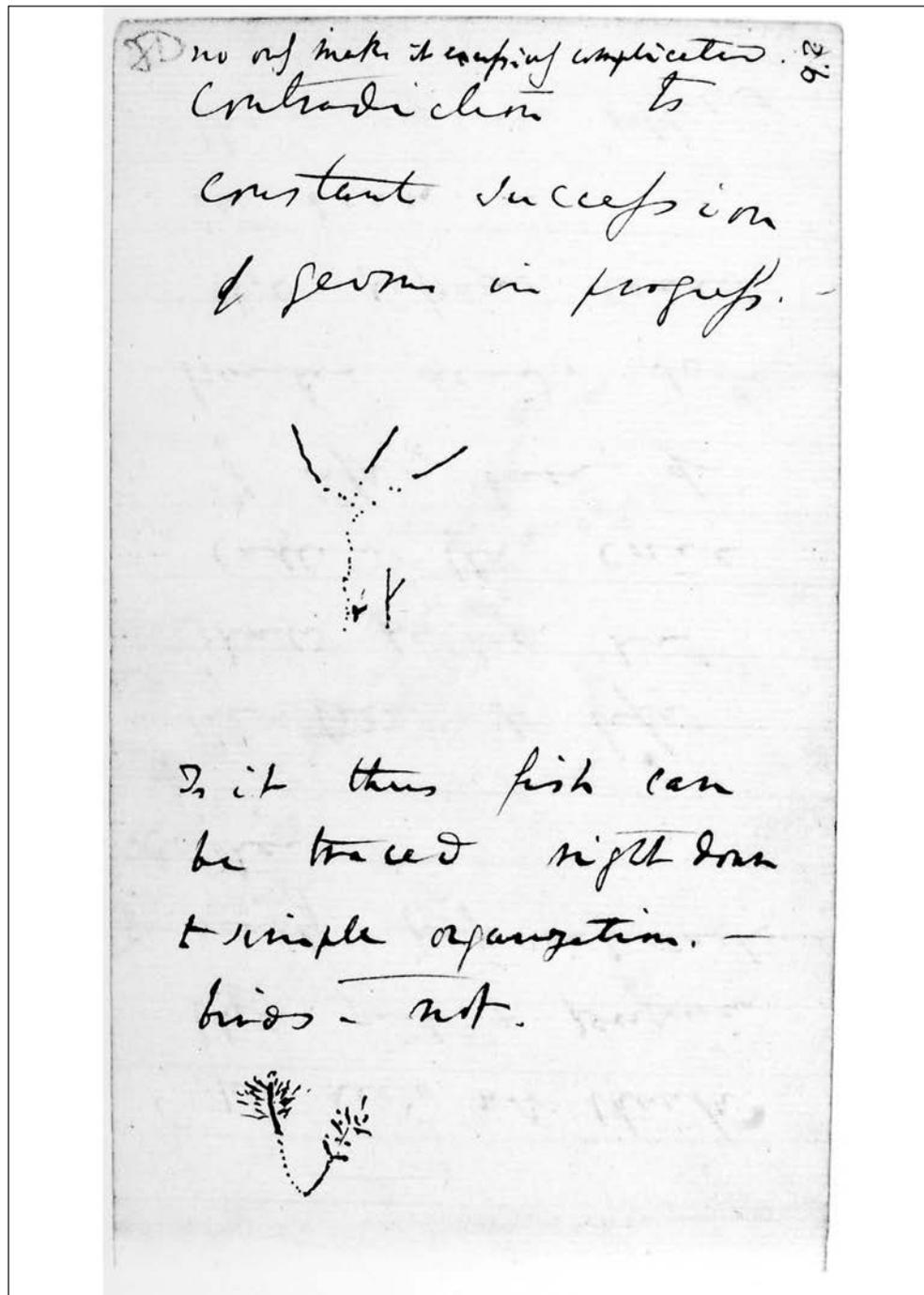


Abb. 8 Charles DARWIN, 1. und 2. Evolutionsdiagramm aus Notebook B, Federzeichnungen, 1837, Cambridge, University Library, Dar. Ms. 121, Fol. 26

eine aus Punkten gebildete Linie, während sie sich nach oben hin in drei Stränge auffächert. Im zugehörigen Kommentar hat DARWIN betont, daß die gepunktete Linie die ausgestorbenen Arten anzeigt, wohingegen sich die drei durchgezogenen Striche auf die rekonstruierbaren Entwicklungen noch lebender Arten der drei Lebensbereiche des Wassers, der Erde und der Luft bezögen.¹⁹

Die untere Krakelur bildet bereits am Ausgangspunkt eine Verästelung, die in den nach links abgehenden Punkten eine hypothetische Abstammungslinie zeigt.²⁰ Auch hier markieren die Punkte die nur in Fossilien überlieferten Bereiche der ausgestorbenen Arten. Die Verzeitlichung der Naturgeschichte hatte damit eine Tiefendimension erreicht, die der Forscher nur mehr als geologischer Zeitforscher erschließen konnte.

Beide Skizzen sind von eher kümmerlicher Gestalt. Dennoch bergen sie eine kaum zu übertreibende wissenschafts- und kulturgeschichtliche Bedeutung. Der Bruch mit der alttestamentlichen Schöpfungsgeschichte, derzufolge die Welt in sieben Tagen geschaffen wurde und darin einem göttlich festgelegten Plan folgte, war vielleicht noch größer als die kopernikanische Enthüllung der Erde aus dem Allmittelpunkt. In den Krakeluren dieser Zeichnungen ist dieser kulturell vielleicht tiefste Einschnitt seit der Antike *in nuce* formuliert.

Um so dramatischer ist der Umstand, daß es sich nicht um Bäume, sondern um Korallen handelt. Über den beiden epochalen Skizzen hat DARWIN bestimmt: „The tree of life should perhaps be called the coral of life.“²¹ Mit dieser Bestimmung konnte DARWIN auf einen Schlag die neuralgische Schwäche des Baummotives vermeiden, daß es nur vom Stamm her zu verwenden war und die Frage der Wurzeln ausblenden mußte, weil am Ursprung immer eine gerade Linie oder ein einziger Ausgangspunkt saß. Mit der Koralle dagegen gab es keine Wurzelfrage, und zudem waren die Fossilien der ausgestorbenen Arten als deren abgestorbener Stamm zu deuten. Die Koralle bot DARWIN ein Modell der Evolution, das den zeitlichen Prozeß insofern entschiedener zu visualisieren vermochte, als es auf einen Blick die Trennung von noch lebenden und bereits ausgestorbenen Arten zu erfassen vermochte.

In DARWINs dritter Zeichnung der Notizbücher von 1837 erinnert daher nichts mehr an einen Baum; vielmehr weist sich die Form von vornherein als Korallenstruktur aus (Abb. 9). Die Rückseite eines Reklamezettels der Druckerei Edward Strong hat DARWIN gleichsam suchend, alle Arten von Modellbildungen skizzierend, im Sinne der ersten Skizzen besiedelt (Abb. 10). Und in Anlehnung an AGASSIZ' geologisches Modell der Artenentwicklung von 1851 hat DARWIN Segmentmodelle skizziert, die kreisrund gedacht werden müssen und damit jeden Gedanken an das Aufstiegstelos von Bäumen umgehen (Abb. 11). Eine Fülle von in

19 Rechts unten verzweigt sich eine Linie, welche die Abstammung der Fische auf einfache Organismen zurückverfolgen läßt: „It is thus fish can be traced right down to simple organization“ (DARWIN 1987, B 26, S. 177). Auch bei ihr ist der untere, zentrale Stamm gepunktet, was anzeigt, daß sich diese Entwicklungsschritte auf ausgestorbene Arten beziehen. Die durchgezogenen Linien des dazwischengelegten Dreizacks haben, winzig wie es ist, keinen Kommentar erfahren; vielleicht bezieht es sich auf niedere Organismen, die in all ihren Entwicklungsstufen überlebt haben. Darüber schließlich ein Punkt, der in eine Linie übergeht, wie um eine Entwicklung anzudeuten, die sich in sich selbst entfaltet, wie um den von DARWIN abgelehnten Lamarckismus zu charakterisieren, der von einer willentlichen Selbstentwicklung der Arten innerhalb der eigenen Grenzen ausging.

20 Das Gebilde sucht die gegenüber den Fischen komplexere Abstammung der Vögel zu formulieren (DARWIN 1987, B 27, S. 177). Vgl. GRUBER 1988, S. 126, und zum gesamten Zusammenhang, auch zum folgenden, VOSS 2003a.

21 DARWIN 1987, B 25, S. 177. Der Grund für dieses Changieren vom Baum zur Koralle liegt in einer Zurückweisung des Lamarckismus. Die Lamarcksche These vom kontinuierlichen Wandel konnte DARWIN mit Blick auf die abgestorbenen Teile der Korallen zugunsten eines Dramas zurückweisen, in dem es um Tod und Überleben geht: „base of branches dead; so that passages cannot be seen. – this again offers contradiction to constant succession of germs in progress“ (ebenda, B 25, S. 177).

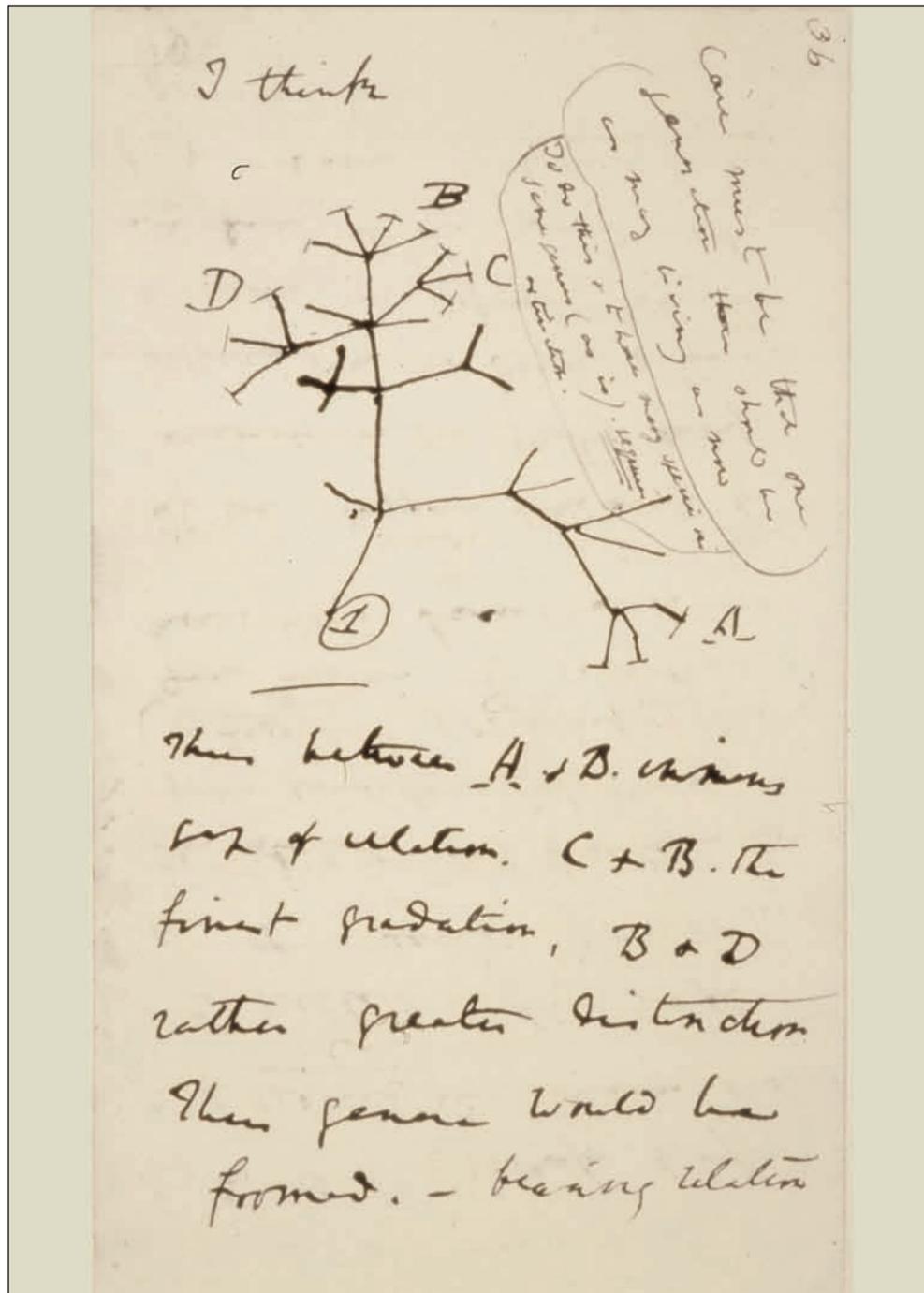


Abb. 9 Charles DARWIN, 3. Evolutionsdiagramm aus Notebook B, Federzeichnung, 1837, Cambridge, University Library, Dar. Ms. 121, Fol. 36

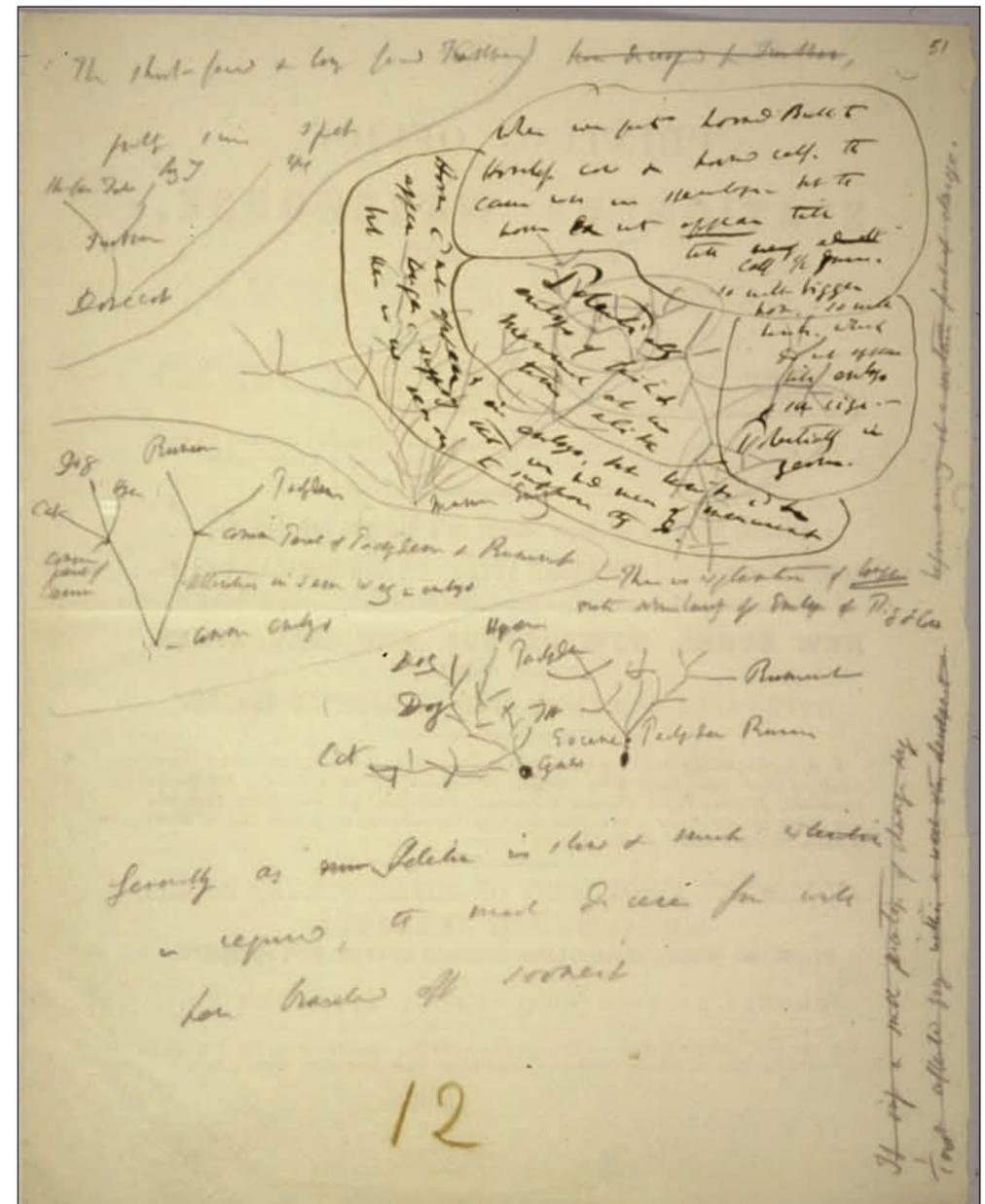


Abb. 10 Charles DARWIN, Vier Abstammungsskizzen, Bleistift und Feder, Rückseite eines Reklamezettels der Druckerei Edward Strong, 1840er Jahre (?), Cambridge, University Library, Dar. Ms. 205, 6, Fol. 51

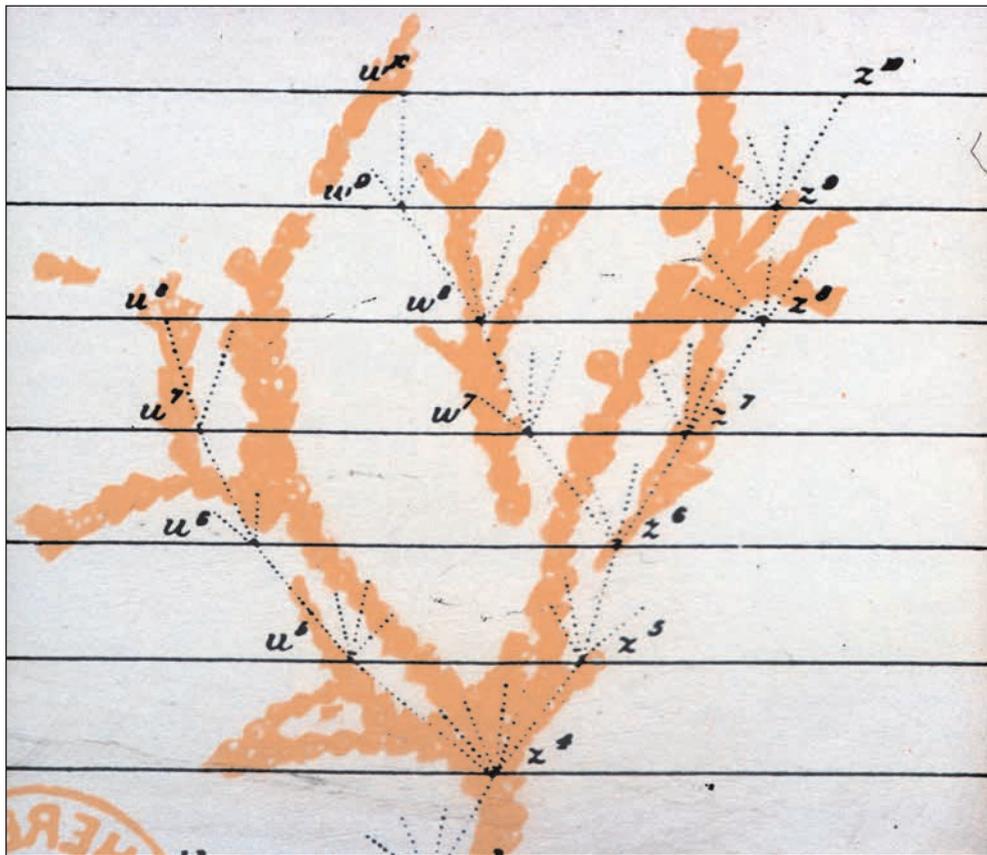


Abb. 13 Überlagerung der *Amphiroa obrignyana* mit dem rechten Arm des Evolutionsdiagramms (Collage: Birgit SCHNEIDER)

Damit aber bezog sich DARWIN auf einen Organismus, der bereits seit der Antike als Bildsymbol der gesamten Natur gedient und in dieser Bestimmung eine größere Rolle gespielt hatte als das Baummodell. Korallen waren verehrt worden, weil sie unter Wasser als weiche und schillernde Pflanzen erschienen, sich in der Sonne aber zu kostbarem Stein verhärteten und dadurch als Symbolwesen aller Metamorphosen gelten konnten. OVID hatte diese Verwandlung in die berühmten Verse gebracht: „Auch heute noch haben die Korallen dieselbe Eigenschaft, bei der Berührung mit Luft zu erstarren, so daß, was im Meer eine Pflanze war, über dem Wasserspiegel zu Stein wird.“²⁵ Durch ihre Überbrückung von Wasser- und Erdreich schienen Korallen ein Gegenbild zu den zerstörerischen Kräften der Natur zu bieten. Die Koralle würde zum Zeichen des Friedens und des Einklangs zwischen den Menschen und einer

25 „nunc quoque curaliis eadem natura remansit, / duritiam tacto capiant ut ab aëre, quodque / vimen in aequore er-
at, fiat super aequora saxum“ (OVID, *Metamorphosen*, IV, 750–752, in OVIDIUS NASO 1994, S. 286/287). Vgl. C.
PLINIUS SECUNDUS d. Ä. 1973–1994, Bd. XIII, LI, Nr. 140, S. 178/179.

Wassernatur, die im Luftreich nicht abstirbt, sondern zum prachtvollen Präsent transmutiert.²⁶ Auch für DARWIN war die Koralle das Modell einer Natur, die den Konflikt von Meer und Land überwunden hatte. Selten erreichte seine Sprache eine solche Inspiration wie anlässlich der Begegnung mit einem Korallenriff: „Mag der Orkan Tausende ungeheurer Bruchstücke losreißen: was hat das zu bedeuten gegenüber der wachsenden Arbeit von Myriaden kleiner Architekten, welche Tag und Nacht, Monat für Monat bei der Arbeit sind? Wir sehen hier, wie der weiche, gallertartige Körper eines Polypen durch die Wirksamkeit der Gesetze des Lebens die große mechanische Kraft der Wellen eines Ozeans besiegt, denen weder menschliche Kunst noch die unbelebten Werke der Natur erfolgreich widerstehen können.“²⁷

Durch ihre unermüdliche Tätigkeit in winzigen, über lange Zeiträume aber effektvollen Schritten hätten die Korallen, so DARWIN, riesige Bauwerke errichtet, die eindrucksvoller seien als die größten antiken Ruinen.²⁸ Auch die kreisförmigen Riffe, die eine innere Riffnadel umhüllen, vergleicht DARWIN mit einem Kunstwerk: „Kann irgend etwas einzigartiger sein als diese Struktur? Sie ist analog zu der einer Lagune, aber mit einer Insel, die sich in der Mitte wie ein Bild in seinem Rahmen erhebt.“²⁹

Mit der Transformation des Baummodells in eine Koralle wird die eingangs formulierte Definition des Bildes jedoch fragwürdig. Denn die Koralle ist nicht nur das Bild der Evolution der Natur, sondern sie gehört DARWIN zufolge zugleich zu jenen Tieren, die Bilder erzeugen. Hierin liegt mehr als nur eine metaphorische Wendung. Vielmehr gehört die Vorstellung, daß alle Organismen Bildproduzenten sind, zu jener zweiten Seite von DARWIN'S Evolutionstheorie, die bis heute verachtet, ignoriert oder neutralisiert worden ist.

3. Evolution durch animalische Bilder?

Die Evolution wird mit den Begriffen der „natural selection“ und des „survival of the fittest“ gefaßt, und selten wird berücksichtigt, daß DARWIN diese beiden Formeln im Alter als nur die eine Seite der Medaille betrachtete; die zweite erkannte er in der „Selection in Relation to sex“, die den gesamten zweiten Teil von *Descent of Man* ausmacht.

Überganglos, dies ist DARWIN'S weit ausholende These, ist von den Tieren bis zu den Menschen das natürliche Prinzip wirksam, daß die weibliche Formerkennung das Paarungsverhalten und damit auch die langfristigen Veränderungen der Evolution bestimmt.³⁰ „Beauty“ meint hierbei das im klassischen Sinn „Schöne“ wie auch das auffällig Besondere, das durch-

26 SOLINAS 2001, S. 237f. Die Quellen liegen bei OVID (siehe Anm. 25), *Metamorphosen*, IV, S. 740ff. und PLINIUS (siehe Anm. 25), XXXII, S. 11; XXXVII, S. 164; grundlegend: FRONTISI-DUCROUX 1996.

27 „Let the hurricane tear up its thousand huge fragments; yet what will this tell against the accumulated labour of myriads of architects at work night and day, month after month. Thus we do see the soft and gelatinous body of a polypus, through the agency of the vital laws, conquering the great mechanical power of the waves of an ocean, which neither the art of man, nor the inanimate works of nature could successfully resist.“ (DARWIN 1989, S. 338; übers. nach: DARWIN 1962, S. 783.)

28 „I am glad we have visited these islands: such formations surely rank high amongst the wonderful objects of the world. It is not a wonder, which at first strikes the eye of the body, but rather, after reflection, the eye of reason. We feel surprised, when travellers relate accounts of the vast extent of certain ancient ruins; but how utterly insignificant are the greatest of these, when compared to the pile of stone here accumulated by the work of various minute animals.“ (DARWIN 1989, S. 342.)

29 „Can any thing be more singular than this structure? It is analogous to that of a lagoon, but with an island standing, like a picture in its frame, in the middle.“ (DARWIN 1989, S. 343.)

30 DARWIN 2003, S. 427ff.

aus häßlich sein kann. Entscheidend ist für die Theorie der Evolution, daß über die zentrale Kategorie der *Beauty* der gesamte natürliche Transmutationsprozeß aus der Notwendigkeit entlassen wird, Zwecken, Nutzen und Zielen zugeordnet zu werden.

DARWINs Konzept der „sexual selection“ hat nichts mit dem Nutzen, sondern mit dem sinnlos schönen Spiel einer abundanten Ornamentik zu tun, die im Pfauenauge ihr Motto besitzt (Abb. 14).³¹ Mit ihm wie auch dem Auge auf der Schwingenfeder des Argusfasans hat sich DARWIN seit dem Jahre 1838 beschäftigt.³² Der überschäumend sinnlose, überwältigend unangepaßte Reichtum der Natur hat DARWIN zufolge im weiblichen Auge einen Kernpunkt der Dynamik.

DARWIN hat diese Wunderwerke einer ornamentierenden Natur in sorgfältigen Zeichnungen erschlossen, die als Bilder den für DARWIN schier unfaßbaren Umstand zu rekonstruieren versuchten, daß die Argusaugen als perspektivisch gestaltete Bilder zu verstehen waren.³³ In geradezu beseelter Betroffenheit vermerkt DARWIN, daß die Bälle Schatten zeigen, als würde die Sonne auf dreidimensionale Gebilde treffen. Der Körper von Vögeln ist die Leinwand explizit simulierter Bilder, welche die Evolution prinzipiell nicht weniger stark geprägt haben als die Anpassung an veränderte Lebensumstände. Es existiert meines Erachtens keine Theo-

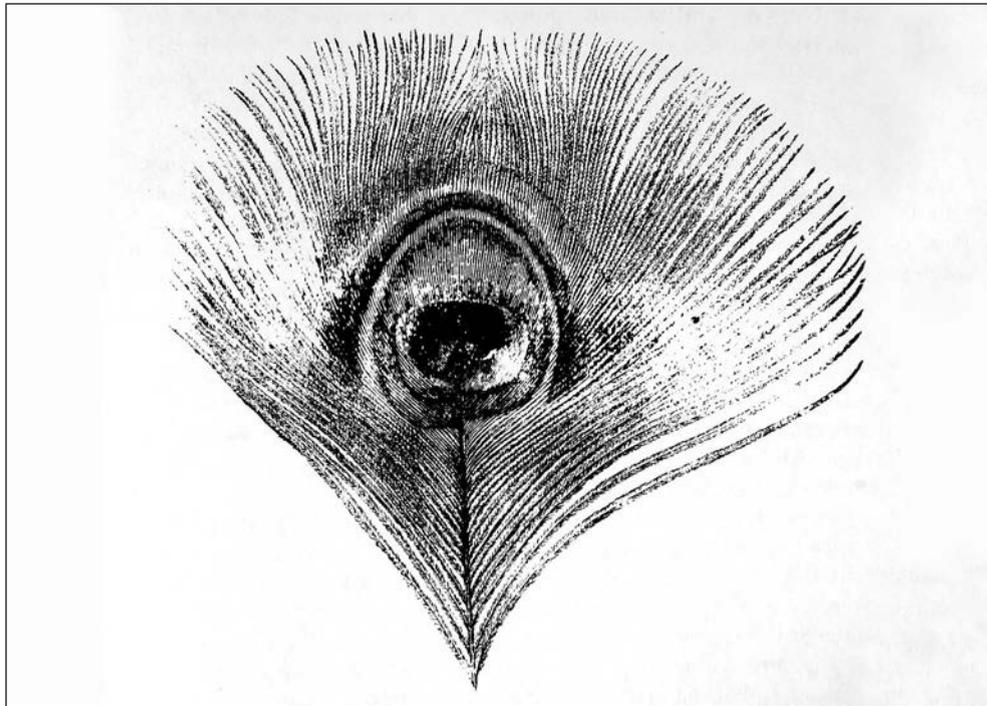


Abb. 14 Pfauenfeder, Illustration in DARWIN 1871

31 Entnommen aus DARWIN 2003, S. 431. Vgl. VOSS 2003b.

32 MENNINGHAUS 2003, S. 69.

33 VOSS 2003b.

rie, die jemals der Bedeutung von Bildern einen höheren Stellenwert zugemessen hätte als DARWINs Prinzip der „sexual selection“. Sie widersetzt sich der eingangs zitierten Regel, daß nur dem Menschen die Fähigkeit zur Bildproduktion gegeben sei. Vielmehr seien Bilder die zentralen Agenten der bereits animalischen Evolution.

Niemand hat DARWIN diese Theorie zunächst abgenommen. Die Theorie der „sexual selection“ hat zumeist selbst die eingeschworenen Freunde irritiert.³⁴ Vom englischen Viktorianismus bis zum Feminismus des 20. Jahrhunderts, von den überzeugtesten Zeitgenossen bis zu den späteren Darwinianern schien diese Erklärung der Evolution irrelevant oder abstoßend.

Das Grundproblem, um das sich die Evolutionstheorie bemüht, wie der oftmals scheinbar sinnlose und zugleich zutiefst schöne Reichtum in die Welt des Kreatürlichen kommt, ist von der Naturtheologie bis auf den heutigen Tag mit einem göttlichen Programmierer beantwortet worden: dem „designer God“. Hätte man DARWIN in seiner abgründigen Komplexität ernst genommen, hätte sich den Kreationisten keine Lücke geboten, in die sie hätten stoßen können. Denn DARWIN hat den *Designer* thematisiert. Es ist der kreatürliche Sinn für die Körpergestalt als Bild.³⁵

Überlagert von der Diskussion um die Genetik, hat sich in den letzten Jahrzehnten in der Einschätzung von DARWINs zweiter Theorie ein Wandel vollzogen, den dramatisch zu nennen eine Untertreibung sein dürfte. Jüngst hat sich der große Insektenforscher Raghavendra GADAGKAR dem Problem gewidmet.³⁶ Mit seiner Konstruktion des „Handicap Principles“ hat sich vor allem Amotz ZAHAVI dem Problem der Durchsetzung scheinbar überflüssiger und kampfschwacher Lebensformen gestellt.³⁷ In all diesen Versuchen, sich DARWINs Bildtheorie der Evolution zu stellen, herrscht aber noch immer das Bestreben, die „sexual selection“ in das Gebiet der „Natural Selection“ einzugemeinden. Durchgängig wird bekräftigt, daß die Demonstration des „Handicap“ eine um so größere Fitness bekunde.³⁸ Vor drei Jahren hat Richard DAWKINS all diesen Versuchen attestiert, DARWINs zweite Komponente der Evolution nicht etwa weiterentwickelt, sondern im Sinne von WALLACE trockengelegt zu haben, der jedwede Äußerung auf den Nutzen zurückgeführt habe: „Modern Wallaceans such as [...] Amotz Zahavi see bright colours and other sexually selected advertisements as honest and uncheatable badges of true quality: health, for example, or resistance to parasites. Darwin would have no problem with that, but he also was prepared to countenance pure aesthetic whim as a selective force in nature.“³⁹ DAWKINS abschließendes Urteil betont die tragende Rolle einer vordergründig nutzlosen Ästhetik in einer Entschiedenheit, wie sie nach DARWIN noch niemals formuliert worden sein dürfte: „What sexual selection explains, better than natural selection, is diversity that seems arbitrary, even driven by aesthetic whim.“⁴⁰

Diese Stimme aus der Festung der Darwinistischen Orthodoxie kommt einer Revolution gleich. Sie stellt den Blick und das Bild in das Zentrum der Evolution, und sie definiert den männlichen Körper aller Spezies als Urform einer Bildkraft, die am Leib beginnt. Damit löst sich auch jene Unterscheidung zwischen der natürlichen Formung des animalischen Körpers und dem künstlich gefertigten Bild auf, die für meine Profession als Kunsthistoriker die Ba-

34 LEVINE 2003, S. 44f.

35 Ebenda, S. 49f.

36 GADAGKAR 2003.

37 ZAHAVI 1997. Vgl. CRONIN 1991.

38 Zur Forschungsgeschichte siehe GADAGKAR 2003.

39 DAWKINS 2003, S. xiii.

40 Ebenda, S. xxvii.

sis bietet. Dieses Problem, das sich zwischen den Positionen ALBERTIS und DARWINS auftut, habe ich darzulegen versucht. Eine Lösung könnte die Frage nach den Bildern in Evolution und Evolutionstheorie gleichsam in einen neuen Rahmen stellen.

Literatur

- ALBERTI, L. B.: Das Standbild. Die Malkunst. Grundlagen der Malerei. Hrsg. u. übers. von O. BÄTSCHMANN u. a. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 2000
- BAHNSEN, U.: Das Geheimnis der Gravuren. In: Die Zeit. Welt- und Kulturgeschichte Bd. 1, 543–547. Hamburg: 2005
- BOEHM, G.: Die Wiederkehr der Bilder. In: BOEHM, G. (Eds.): Was ist ein Bild? S. 11–38. München: Fink 1994
- BREDEKAMP, H.: Darwins Korallen. Frühe Evolutionsmodelle und die Tradition der Naturgeschichte. Berlin: Wagenbach 2005
- CRONIN, H.: The Ant and the Peacock. Cambridge (Mass.): Cambridge University Press 1991
- DARWIN, C.: Notebooks, 1836–1844. Geology, Transmutation of Species, Metaphysical Enquiries. Transcribed and edited by P. H. BARRETT, P. J. GAUTREY u. a. Cambridge: British Museum [Natural History] 1987
- DARWIN, C.: Voyage of the Beagle. Edit. by J. BROWNE and M. NEVE. London, New York: Penguin Books 1989
- DARWIN, C.: On the Origin of Species. A Facsimile of the First Edition (Einleitung: E. MAYR). Cambridge (Mass.), London 2001 [1964]
- DARWIN, C.: The Descent of Man and Selection in Relation to Sex. Reprint der 2. Auflage von 1871. London 2003
- DAWKINS, R.: Introduction. In: DARWIN, C.: The Descent of Man and Selection in Relation to Sex. Reprint der 2. Auflage von 1871. S. xi-xxix. London 2003
- DELLUC, B., et DELLUC, G.: Lascaux Retrouvé. Périgueux: Pilote 24 2003
- DENNETT, D. C.: Darwin's Dangerous Idea. Evolution and the Meanings of Life. London: Allen Lane The Penguin Press 1995
- D'ERRICO, F., HENSHILWOOD, C., VAHAEREN, M., and VAN NIEKERK, K.: *Nassarius kraussianus* shell beads from Blombos Cave: evidence for symbolic behaviour in the Middle Stone Age. *J. Human Evol.* 48, 3–24 (2005)
- FRONTISI-DUCROUX, F.: Andromède et la naissance du corail. In: GEORGIOUDI, S., et VERNANT, J. P.: Mythes grecs au figuré de l'antiquité au baroque; pp. 135–165. Paris: Gallimard 1996
- GADAGKAR, R.: Is the peacock merely beautiful or also honest? *Curr. Sci.* 85/7, 1012–1020 (2003)
- GRUBER, H. E.: Darwin's „tree of nature“ and other images of wide scope. In: WECHSLER, J. (Ed.): On Aesthetics in Science. Boston, Basel: Birkhäuser 1988
- HAECKEL, E.: Generelle Morphologie der Organismen. Allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft. Bd. II. Berlin: Reimer 1866
- KLEEBERG, B.: Theophysis. Ernst Haeckels Philosophie des Naturganzen. Köln, Weimar und Berlin: Böhlau 2005
- LEVINE, G.: „And If It Be a Pretty Woman All the Better“ – Darwin and Sexual Selection. In: SMALL, H., and TATE, T. (Eds.): Literature, Science, Psychoanalysis, 1830–1970. Essays in Honour of Gillian Beer; pp. 37–51. Oxford u. a.: Oxford University Press 2003
- LORBLANCHET, M.: Les Grottes ornées de l'préhistoire. Paris: Éd. de la Maison des Sciences de l' Homme 1995
- LORBLANCHET, M.: La Naissance de l'Art. Genèse de l'art préhistorique. Paris: Éditions Errance 1999
- MARSHALL GRAVES, J. A.: The tree of life: View from a twig. *Science* 300/5626, 1621 (2003)
- MELLINK, J. M., und FILIP, J.: Frühe Stufen der Kunst. Propyläen Kunstgeschichte Bd. 14. Berlin: Propyläen-Verlag 1985
- MENNINGHAUS, W.: Das Versprechen der Schönheit. Frankfurt (Main): Suhrkamp 2003
- ONIANS, J.: DuMont Weltatlas der Kunst. Köln: DuMont 2004
- OVIDIUS NASO, P.: Metamorphoses/Metamorphosen. Hrsg. u. übers. von M. VON ALBRECHT. Stuttgart: Reclam 1994
- PLINIUS SECUNDUS d. Ä., C.: Naturalis historia libri I–XXXVII. Hrsg. u. übers. von R. KÖNIG in Zusammenarbeit mit J. HOPP. München: Heimeran 1973–1994
- PÖRKSEN, U.: Blickprägung und Tatsache. Veranschaulichungsstufen der Naturwissenschaften – von der hypothetischen Skizze bis zum öffentlichen Idol. In: DANNEBERG, L., und NIEDERHAUSER, J. (Eds.): Darstellungsformen der Wissenschaften im Kontrast. Aspekte der Methodik, Theorie und Empirie. Tübingen: Narr 1998
- SOLINAS, F.: La Pêche du Corail de Pierre de Cortone retrouvée à Tsarskoïe Selo. *Gazette des Beaux-Arts* Jg. 143, 233–250 (2001)
- VOLAND, E., und GRAMMER, K. (Eds.): Evolutionary Aesthetics. Berlin, Heidelberg: Springer 2003
- Voss, J.: Darwins Diagramme – Bilder von der Entdeckung der Unordnung. Berlin: Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte 2003a
- Voss, J.: Augenflecken und Argusaugen: Zur Bildlichkeit der Evolutionstheorie. In: Bildwelten des Wissens. Kunst-historisches Jahrbuch für Bildkritik Bd. 1,2, 75–85 (2003b)
- WALLACE, A. R.: On the law which has regulated the Introduction of New Species. *Annals and Magazine of Natural History* 2nd Series Bd. 16, 184–196 (1855)
- ZAHAVI, A.: The Handicap Principle: A Missing Piece of Darwins puzzle. New York, Oxford: Oxford University Press 1997

Prof. Dr. Horst BREDEKAMP
Humboldt-Universität Berlin
Institut für Kultur- und Kunstwissenschaften
Kunstgeschichtliches Seminar
Unter den Linden 6
10099 Berlin
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 30 20934498
Fax: +49 30 20934209
E-Mail: horst.bredkamp@rz.hu-berlin.de

Rituale, Kultur und sozialer Wandel

Ute FREVERT (New Haven, CT)

Mitglied der Akademie



Zusammenfassung

Der Beitrag skizziert die Rolle von Ritualen im Prozeß kultureller und sozialer Evolution. Er betont ihren Stellenwert bei der Bewältigung von Übergangssituationen und unterstreicht ihre gemeinschaftsbildende und stabilisierende Funktion. Er verfolgt die Entwicklung von Ritualen als Bestandteilen religiös-kultischer Handlungen, die in modernen und hochdifferenzierten Gesellschaften ihren verbindenden und verbindlichen Charakter einbüßen, hin zu partialisierten Elementen sozialer Interaktionen. Und er vertritt die These, daß Rituale in der Moderne selbstreflexiv geworden sind, offen für Kritik, Verwerfung und Neuentdeckung.

Abstract

The essay sets out to trace the role of ritual in social and cultural evolution. It focuses on the eminent function of rituals in the rites of passage, be it within the individual life cycle, in the cosmic world or in political decisions. Rituals, the argument goes, have performed social functions, building and stabilizing communities. In small-scale and pre-modern societies, communities were integrated through magic-religious rituals that overarched age, gender, and class difference. Modern societies becoming more complex and differentiated, stripped rituals of their centrality, but still depend on them as elements of group cohesion and representation. Rather than drawing on a self-evident set of consented beliefs and perceptions, modern rituals are open to self-reflection and criticism, and thus lend themselves to negotiation, abrogation and re-invention.

Rituale sind in den letzten Jahren zu einem Lieblingsthema von Kulturwissenschaftlern avanciert. Historiker und Anthropologen, Sozial-, Bild- und Literaturwissenschaftler haben sie als Forschungsthema (wieder)entdeckt (SOEFFNER 1995, BRAUNGART 1996, BELL 1997). Oft gehören diese Wissenschaftler einer Generation an, die in ihrer Jugendphase allen Ritualen den Kampf angesagt hatte. Private Rituale des Familienlebens verfielen dem studentenbewegten Bann ebenso wie öffentliche Rituale der Politik oder der Universität. Die Achtundsechziger waren geschworene Antiritualisten; Rituale galten ihnen als Ausdruck von Machtverhältnissen, die sie ändern wollten. Erfolgreich waren sie vor allem an der Universität; hier verschwanden mit dem Muff aus tausend Jahren auch die Talare der Professoren, die feierliche Eröffnung des akademischen Jahres und die stilvolle Überreichung der Abschlußzeugnisse (BRETSCHNEIDER und PASTERNAK 1999).

Interessanterweise sind es häufig Angehörige eben dieser Generation, die, in professorale Positionen eingerückt, heute auf die Wiedereinführung akademischer Rituale drängen. Um die „Kultur“ und Bindungskraft der Universität besorgt, greift man auch in Deutschland erneut auf Formen studentischer Begrüßung und Entlassung zurück, die dem Alltag enthoben sind, feierlich inszeniert werden und einem festgelegten, sich turnusmäßig wiederholenden Ablaufplan folgen. Vorbilder und Inspiration findet man in der eigenen Geschichte, aber auch in entsprechenden Institutionen der Alten und Neuen Welt. Weder die polnische Universität Breslau noch die amerikanischen Elite-Colleges haben sich je von ihren Ritualen getrennt, sei es der Professoreneinzug in bunter Amtstracht oder das *commencement* genannte Abschlußzeremoniell unter freiem Himmel, *rain or shine*.

Rituale, scheint es, lassen sich nur schwer abschütteln; selbst ihre erklärten Verächter kehren zu ihnen zurück, in der Praxis ebenso wie in der Theorie. Woran liegt das? Was macht die Beharrungskraft von Ritualen aus? Welche Funktionen übernehmen sie, welche Rolle spielen sie in den Prozessen der „Evolution und Menschwerdung“? Wie halten sie sich zu dem, was wir Kultur nennen und als Gesamtheit menschlicher Lebensgestaltung definieren? Und was geschieht mit Ritualen, wenn Gesellschaften sich verändern?

First things first: Was sind überhaupt Rituale? In unserer Alltagssprache neigen wir dazu, den Begriff inflationär zu verwenden; wir sprechen vom Ritual des gemeinsamen Abendessens, vom Ritual des Die-Kinder-Ins-Bett-Bringens, vom Ritual sonntäglicher Spaziergänge, jährlicher Betriebsausflüge und Weihnachtsfeiern im Kreis von Kollegen und Mitarbeitern. Was wir aber eigentlich meinen, sind nicht Rituale, sondern schlichte Gewohnheiten und Gepflogenheiten, die sich mit einer gewissen Regelmäßigkeit wiederholen und einem relativ festen Ablaufschema folgen. Was ihnen zum Ritual im engeren Sinn fehlt, ist der Bezug auf ein Höheres, Herausgehobenes, Transzendentes, der symbolische Überschuß. Nicht zufällig haftet dem Ritual in der Regel etwas Feierliches an – denken wir etwa an die Rituale, mit denen junge Menschen in die kirchlich-religiöse Gemeinschaft eingeführt werden (die Konfirmation für Protestanten, die Kommunion für Katholiken, die Bar oder Bat Mitzwah für Juden), aber auch an die Rituale des *commencement* oder der Schulabschlußfeier, der Eheschließung, der Verabschiedung aus dem aktiven Berufsleben. Alle diese Handlungen teilen eine zeremonielle Feierlichkeit, die sie von den gewöhnlichen Routinen und Konventionen des Alltags trennt.

Die Feierlichkeit verweist auf den Ursprung von Ritualen, den Ethnologen in der Sphäre des Magisch-Religiösen lokalisieren und der auch in der sprachlichen Nähe von Ritus und Ritual aufscheint. Für frühe und einfacher strukturierte Gesellschaften spielten magische Vorstellungen eine tragende Rolle; sie beherrschten das soziale Zusammenleben ebenso wie das

Verhältnis zur Umwelt. Rituale, die solche Vorstellungen in Handlungen übersetzten, nahmen eine zentrale Stellung ein, sie waren allgegenwärtig und allumfassend.

Ihr primärer Ort war, darauf hat der französische Anthropologe Arnold VAN GENNEP bereits vor fast hundert Jahren aufmerksam gemacht, der Übergang, die Schwelle, das Liminale (VAN GENNEP 1999).¹ Solche Übergänge fanden im individuellen Lebenszyklus statt, aber auch im sozialen und politischen Bereich, bei der Vorbereitung eines Krieges oder der Inthronisation eines neuen Anführers. Da Übergänge prinzipiell als Gefährdung und Destabilisierung wahrgenommen wurden, hegte man sie rituell ein: Man dramatisierte sie und besänftigte sie zugleich. Das fing mit der Geburt an und endete mit dem Tod und der Bestattung eines Menschen, kannte aber dazwischen weitere wichtige Etappensprünge: das Ende der Kindheit, den Beginn der Adoleszenz und des Erwachsenseins, die Heirat, die Initiation in religiöse oder berufliche Gemeinschaften. All diese Etappen oder Lebensphasen wurden durch Rituale getrennt und damit als solche markiert. Darüber hinaus entwickelten Gesellschaften Rituale, um kosmische Veränderungen hervorzuheben und zu inkorporieren: Sonnenwendfeiern beispielsweise, oder Feiern bei Jahresbeginn und Jahresende.

Ethnologen haben seit dem 19. Jahrhundert eine Unmenge solcher Rituale dokumentiert in einer Unmenge von Gesellschaften – die VAN GENNEP noch, unbeschadet jeder politischen Korrektheit, „halbzivilisiert“ nannte (VAN GENNEP 1999, S. 26 u. ö.).² Historiker wiesen nach, daß auch „zivilisierte“, d. h. großräumigere, komplexere, stärker differenzierte Gesellschaften rituell organisiert waren. Die antiken Hochkulturen kamen ebensowenig ohne Rituale aus wie die europäischen Gesellschaften des Mittelalters oder der Frühen Neuzeit. Hier wie dort waren Rituale religiös-kultisch eingefaßt; ihre expressive Sprache und ihre integrierende Kraft gewannen sie durch die enge Bindung an die Sphäre des Religiösen. Solange diese Sphäre alle anderen überwölbte und verknüpfte – was im Prinzip für alle vormodernen Gesellschaften galt –, blieben auch Rituale religiös imprägniert und legitimiert. Das läßt sich im wirtschaftlichen Leben ebenso verfolgen wie im politischen. Die Initiationsrituale der mittelalterlichen und frühneuzeitlichen Zünfte wiesen deutlich erkennbare religiöse Bezüge auf. Und auch das Huldigungszeremoniell, mit dem eine neue politische Herrschaft begrüßt wurde, war tief religiös geprägt. Am stärksten kam dies im politischen Eid zum Ausdruck, in dem das Zeremoniell gipfelte. Seine religiöse Grundierung hat teilweise bis heute überlebt.³

Und dennoch haben Soziologen in der Nachfolge Emil DURKHEIMS und Max WEBERS immer wieder betont, daß moderne Gesellschaften auf Rituale nicht mehr angewiesen seien. Sie haben auf den Prozeß der Rationalisierung verwiesen, der die Lebens- und Vorstellungswelt der Menschen seit mindestens fünfhundert Jahren entscheidend verändert habe, auf die zunehmende Komplexität und Ausdifferenzierung sozialer Systeme, auf die Trennung zwischen religiöser und weltlicher Sphäre. In dem Maße, wie die religiös-magische Imprägnierung des sozialen Lebens nachgelassen habe und Gesellschaften nicht nur größer, sondern auch vielfältiger, durchlässiger, individualisierter geworden seien, hätten Rituale ihre Zentralität eingebüßt (ALEXANDER 2004).

1 VAN GENNEP gebraucht die Begriffe „Ritus“ und „Ritual“ synonym.

2 TURNER (1989, S. 10) betont, „daß es in Sachen der Religion wie auch der Kunst keine ‚einfacheren‘ Völker gibt, sondern höchstens Völker, die eine einfachere Technologie haben als wir. Das Phantasie- und Gefühlsleben der Menschen ist immer und überall reich und komplex.“

3 PRODI 1993, 1997; zur Huldigung HOLENSTEIN 1991, ANDRES und SCHWENGLBECK 2005; zu Handwerksbräuchen WISSELL 1981, STÜRMER 1979, GRIESSINGER 1981.

Gegen diese These ist prinzipiell wenig einzuwenden; sie leuchtet theoretisch ein. Aber wie steht es mit der Empirie? Sind Rituale wirklich aus modernen Gesellschaften verschwunden oder fristen allenfalls ein marginales Dasein? Sind sie im Prozeß kultureller Evolution überflüssig geworden oder durch andere Formen sozialer Bindung und symbolischer Initiation ersetzt worden? Die anfangs konstatierte Überlebenskraft akademischer und lebenszyklischer Rituale spricht gegen diese Annahme. Offenbar gibt es auch in hochdifferenzierten und individualisierten Gesellschaften ein Bedürfnis nach symbolischer Ordnung, nach Rhythmisierung und Vergemeinschaftung – nach jenen Funktionen also, die Rituale klassischerweise erfüllen.⁴

Allerdings ist dieses Bedürfnis heute nicht mehr in ein allgemein bindendes, religiös unterfüttertes Weltverständnis eingebettet. In dem Maße, wie sich moderne Gesellschaften von der Dominanz des Religiösen lösten und autonome Funktionsbereiche wie Wirtschaft, Recht, Kunst, Wissenschaft ausbildeten, veränderten sich demgemäß auch der Stellenwert und die Bedeutung von Ritualen. Das heißt nicht etwa, daß es in der Moderne keine Rituale mehr gäbe. Es gibt vielleicht sogar mehr als früher. Was ihnen aber im Vergleich zu früheren Epochen fehlt, ist der transzendente, der religiös-magische Bezug. Mit der „Entzauberung der Welt“ durch die moderne Wissenschaft und Rationalität ist eben dieser Bezug, als verbindlicher und verbindender, abhanden gekommen.

Das läßt sich selbst an jenen Ritualen erkennen, die nach wie vor eng mit religiösen Institutionen identifiziert werden. Die klassischen lebenszyklischen Übergänge – VAN GENNEPS *rites de passage* – werden zwar auch heute noch von den meisten Menschen in Europa als religiöses Ritual begangen, in Form der christlichen Taufe, Konfirmation, Eheschließung und Beerdigung. Zugleich aber weist die Kirchenstatistik der letzten zweihundert Jahre einen dramatischen Trend der Entkirchlichung aus, der sich vor allem am Rückgang des Gottesdienstbesuchs und der Teilnahme am Abendmahl ablesen läßt (HÖLSCHER 2001). Gerade die Verweigerung des Abendmahls – als eines magischen Verwandlungsrituals – ist ein untrügliches Zeichen für die abnehmende Glaubensstärke und Kirchenverbundenheit. Dessenungeachtet wird das kirchliche Angebot lebenszyklischer Rituale weiterhin angenommen: Es erfüllt offenbar ein weit verbreitetes Bedürfnis, Lebensphasen als solche zu markieren und feierlich zu begehen.

Daß dafür nicht unbedingt ein kirchlich-religiöser Rahmen notwendig ist, zeigen die Entwicklungen der jüngsten Zeit. Eltern, die die Taufe ablehnen, wählen gleichwohl Paten für ihre Kinder aus und erfinden neue Formen, deren Eintritt in die soziale Welt bewußt zu gestalten. Professionelle Bestattungsredner sind bereits romanfähig geworden (TIMM 2001). Besonders aufschlußreich ist das Phänomen der Jugendweihe, einer alten sozialdemokratischen Tradition, die in der DDR als säkulares Gegenmodell zur Konfirmation propagiert wurde. Sie gehört zu den wenigen Einrichtungen, die das Ende des sozialistischen Staates überdauert haben und auch im Westen Anklang finden (ISEMEYER und SÜHL 1989).

Ob kirchlich-religiös oder säkular, was diese lebenszyklischen Rituale durchweg kennzeichnet, ist ihre Gemeinschaftsorientierung. Wohin wir schauen, ob auf die Bewohner eines Südsee-Archipels, ein afrikanisches Dorf oder die Bundesrepublik Deutschland im frühen 21. Jahrhundert: Überall finden Rituale in einem sozialen Kontext statt, an dem viele Menschen teilhaben, die Eingeweihten und ihre *community*. Das gilt für Konfirmationen oder Ju-

4 WULF (2004, S. 191–209) betont diese Funktionen und verweist darauf, daß Rituale ihre Aufgabe vor allem durch ihren inszenatorisch-performativen Charakter erfüllen.

gendweihen ebenso wie für Hochzeiten und Beerdigungen. Selbst wenn es um höchstprivate, subjektive Entscheidungen und Erlebnisse geht, ist das Ritual selber gemeinschafts-offen, ja es bedarf gleichsam der Anwesenheit – der wirklichen oder der nur gedachten – von Dritten, um seine Wirkung zu entfalten.

Schon VAN GENNEP hatte darauf hingewiesen, daß Übergangsriten nicht nur für die Einzelnen relevant sind, sondern ebenso für die Gruppe, die sie aufnimmt. Sehr deutlich wird dies in jugendlichen Initiationsritualen, bei denen die beobachtete Unterteilung in Trennungs-, Umwandlungs- und Angliederungsrituale besonders scharf ausgeprägt ist. Der zeremoniell begangenen Einfügung in eine neue soziale Gruppe (junger Männer etwa) geht die Trennung von der alten (Familie) voraus; beide Male sind also Gruppenumbildungen am Werk, die rituellförmig praktiziert werden (VAN GENNEP 1999, S. 70 ff.). Noch stärker als VAN GENNEP betont der Anthropologe Victor TURNER den sozialen oder „communitas“-Aspekt von Ritualen. Selbst wenn sie ausschließlich eine einzelne Person betreffen, die ihren Status in der Gemeinschaft verändert, sind sie auf die Gemeinschaft bezogen und darauf bedacht, deren Struktur zu erhalten und zu festigen (TURNER 1989, S. 128 ff.).

Man kann das anhand der Initiationsrituale nachvollziehen, die in manchen Institutionen auch heute noch gang und gäbe sind. Diese Rituale haben einen doppelten Zweck: Einerseits führen sie das neue Mitglied in die Symbolwelt der Gruppe ein, machen es bekannt mit den Gepflogenheiten, Rangordnungen und Wertmustern der Gemeinschaft. Das geht einher mit klassischen Verfahren der Degradierung und Demütigung. Bevor der Initiand die Statuserhöhung, die mit seinem Eintritt in die neue Institution verbunden ist, so recht genießen kann, wird er, so TURNER (1989, S. 162), „in eine Art menschliche *prima materia* verwandelt, jeder spezifischen Form beraubt“. Andererseits dienen Rituale dem Gruppenzusammenhalt, indem sie alle Mitglieder regelmäßig und immer wieder an die gemeinsamen Normen und Verfahrensweisen erinnern.

Einige Beispiele mögen dies illustrieren. Aus dem Spätmittelalter stammt das Ritual der *depositio*, in dem der zukünftige Student seine schülerhafte Unreife ablegte und sich als immatrikulationswürdig erwies. Unter Leitung eines älteren Magisters oder Professors hatte er sich verschiedenen erniedrigenden und verspottenden Behandlungen auszusetzen, bis er zum Schluß mit einem ausgelassenen Festmahl, dem *convivium*, in die Gemeinschaft der Jungakademiker aufgenommen wurde (RÜEGG 1996, S. 281 f.). In der englischen Privatschule Ascot, die der junge Harry Graf KESSLER in den 1880er Jahren besuchte, mußte er sich am ersten Tag einem Aufnahme-ritual in Form eines Boxkampfes unterziehen. Als er einige Jahre später in Bonn studierte, lernte er die Initiationsrituale eines vornehmen Corps kennen: die Bestimmungsmensuren, die Kneipen- und Biercomments, den Status der Füchse (KESSLER 1988, S. 102, 172 ff.).⁵ Auch der Eintritt ins Militär wurde rituell begangen: als Trennungszeremoniell, in dem die jungen Rekruten sich feucht-fröhlich von ihren Freunden, Nachbarn und Verwandten verabschiedeten und auf geschmückten Leiterwagen zur Kaserne fuhren; als Schwellenzeremoniell mit entsprechenden Aus- und Einkleideprozeduren; als Angliederungszeremoniell mit demütigenden Schikanen der bereits länger dienenden Soldaten (FREVERT 2001, S. 228 ff.). Breit überliefert sind solche Initiationsrituale im übrigen auch aus der sozialen Welt des Handwerks. Jede Statuserhöhung – vom Schüler zum Lehrling, vom Lehrling zum Gesellen, vom Gesellen zum Meister – wurde hier bis weit ins 20. Jahrhundert hinein rituell inszeniert.

⁵ Vgl. zu den englischen Praktiken den Klassiker HUGHES 1857, zu den deutschen Verbindungsstudenten FREVERT 1991, Kap. V.

In Form der Übergangsrituale lernte der Initiand also die neue Gruppe kennen, in die er teils freiwillig, teils gezwungenermaßen eingetreten war. Zugleich festigten die Rituale, an denen alle Gruppenmitglieder teilnahmen, die Kohäsion der Gruppe. Rituale hatten und haben stets eine eminent konservative Funktion: Sie stärken und erhalten die Gemeinschaft, die sich in ihnen zu erkennen gibt. Je angreifbarer und prekärer der Status dieser Gemeinschaft ist, desto notwendiger sind die Rituale, mit denen sie sich ihres inneren Zusammenhalts versichert. Das läßt sich gut bei allen Geheimgesellschaften beobachten – von den Freimaurerlogen des 18. Jahrhunderts bis zur Cosa Nostra.

Gerade die Logen, in denen die bürgerliche Welt, wie Reinhart KOSELLECK (1959, HOFFMANN 2000) argumentiert hat, mit ihren Prinzipien der Kritik und antiständischen Opposition Gestalt annimmt, sind zudem ein gewichtiges Indiz dafür, daß Rituale auch in der modernen, arbeitsteiligen Gesellschaft und ihren typischen Gesellungsformen einen festen Platz finden. Ebenso wenig wie die Moderne alle sozialen Bindungen auflöst (was ihr bereits von konservativen Zeitgenossen des 19. Jahrhunderts vorgeworfen wurde), kommt sie ohne Rituale aus. Im Gegenteil: Mit der wachsenden Zahl frei zugänglicher Assoziationen, die das 19. Jahrhundert zu einer „Zeit der Vereine“ (NIPPERDEY 1976) macht, erhöht sich auch der Ritualbedarf.

Die moderne bürgerliche Gesellschaft, die ihre Mitglieder aus traditionellen Ordnungsmustern entläßt und auf meritokratische anstelle von geburtsständischen Prinzipien einschwört, ist existentiell darauf angewiesen, neue, wenn auch fluidere Formen der Selbstbindung und Zugehörigkeit zu schaffen. Eben das geschieht in jenen Assoziationen, Organisationen und Institutionen, deren Vielfalt und Anzahl den Grad sozialer Differenzierung spiegeln. Ihr Bindungsanspruch drückt sich in der Intensität und Zentralität ihrer Rituale aus. Am stärksten ausgeprägt ist er zweifellos bei den Freimaurerlogen. Aber auch die sozialdemokratische Arbeiterbewegung des 19. Jahrhunderts hat ein beeindruckendes Arsenal von Ritualen entwickelt: von gemeinsamen Gesängen und Fahnenweihen bis hin zu Begrüßungs- und Streikritualen (RUPPERT 1986). Nicht zuletzt pflegten studentische Korporationen eine elaborierte Ritualkultur. Sie wird durch das Prinzip der lebenslangen Mitgliedschaft gestärkt. Nicht nur für die jungen Füchse und ihre Initiation sind die Rituale von großer Bedeutung, sondern auch für die Alten Herren, die in der Wiederholungsstruktur der Messuren und Trinkgelage einen dauerhaften Anker ihrer Zugehörigkeit finden.

Allerdings sind längst nicht alle Vereine, die seit dem späten 18. Jahrhundert entstehen, so exklusiv, selektiv und besitzergreifend wie Freimaurerlogen oder studentische Verbindungen. Viele sind sozial offen und in ihren Funktionen außerordentlich spezialisiert. Hier gilt das Prinzip: Je zugänglicher und differenzierter, desto schwächer fällt die Ritualisierung aus. Klassische Interessenverbände oder Gesangsvereine bilden weniger Rituale aus als exklusive Ressourcen, die den Zugang durch geheime Ballotverfahren regeln.

Was Rituale für diese neuen, relativ flüssigen Formen sozialer Vergemeinschaftung attraktiv macht, ist ihre Inklusionskraft. Gerade dort, wo die Mitgliedschaft auf der freien Entscheidung des Einzelnen beruht und Austritte jederzeit ohne Sanktionen möglich sind, dienen Rituale als überaus nützliche Bindemittel. Sie produzieren Vertrautheit, garantieren Wiedererkennbarkeit und stellen Erinnerungsmarken dar, die langfristige Verbundenheit schaffen.

Diese Leistungen des Rituals machen sich im übrigen nicht nur Vereine zunutze, sondern auch Institutionen wie Kirchen, Gerichte oder Universitäten. Rituale signalisieren hier die Macht der Institution, ihrer Ein- und Ausschlußregeln, über die ihr angehörenden Personen. Sie offenbaren, wie es die Anthropologin Monica WILSON (1954, S. 241) formulierte, „Grup-

penwerte“, auf die sie ihre Mitglieder verpflichten. An den überaus beliebten *homecomings*, die angelsächsische Schulen und Colleges alljährlich für ihre Ehemaligen veranstalten, läßt sich ermesen, wie dauerhaft diese Verpflichtung wirkt und wie stark ihre inkludierende Kraft ist.

Historisch standen die meisten dieser Institutionen nur Männern offen. Universitäten, Handwerksinnungen, Logen, studentische Verbindungen, politische Vereine waren Frauen bis weit ins 20. Jahrhundert hinein – teilweise bis heute – nicht zugänglich. Heißt das, daß Frauen ein weniger enges Verhältnis zu Ritualen entwickelt haben? Sicherlich nicht *per se*, wie der Blick auf frühere oder weniger differenzierte Gesellschaften zeigt. Ethnologen haben bei Mädchen und Frauen nicht weniger Rituale gefunden als bei Männern, im Gegenteil. Der Übergang zur Pubertät, den die erste Monatsblutung signalisiert, wird gemeinhin rituell markiert und betont, und das gleiche gilt für Schwangerschaften (VAN GENNEP 1999, S. 47 ff., GODELIER 1987, S. 66 ff.). Rund um diese lebensgeschichtlichen Einschnitte entfaltet sich ein reiches kulturelles Repertoire öffentlicher Zeremonien, die Frauen fest in die weibliche Gemeinschaft des Dorfes, Stammes etc. einfügen. Ähnliche Praktiken lassen sich noch im 19. und frühen 20. Jahrhundert in vielen ländlichen Gebieten Europas nachweisen (MÜLLER 1985, SCHLUMBOHM 1998).

Die moderne urbane Gesellschaft jedoch kennt sie nicht mehr – oder nur noch in Spurenelementen und privat. Das hat etwas mit der rigiden Trennung zu tun, die diese Gesellschaft zwischen privaten und öffentlichen Räumen installiert. Frauen werden dabei zunehmend aus der Öffentlichkeit verbannt; ihr Reich ist das Private, ist die einzelne Familie. Zwar wird der Eintritt in jenes Reich, die Heirat, rituell begangen und gefeiert, wie andere lebensgeschichtliche Übergänge auch. Die Rituale und Institutionen des öffentlichen Raums aber bleiben Frauen versperrt, mit Ausnahme derjenigen, die die Kirche und die Schule anbieten. Wandel schafft hier erst das 20. Jahrhundert, das die geschlechtsspezifischen Zugangsbeschränkungen auf massiven Druck vieler Frauen formal aufhebt – formal, aber längst nicht immer faktisch.

Ironischerweise aber geraten in eben jener Zeit, die den Zugang zu vielen Institutionen demokratisiert – übrigens nicht nur für Frauen, sondern auch für unterbürgerliche Schichten –, eben jene Institutionen unter Druck, sich von traditionellen Ritualen zu verabschieden. Beide Prozesse, Demokratisierung und Entritualisierung, scheinen Hand in Hand zu gehen. Das läßt sich am Rückbau akademischer Rituale illustrieren, der in der Bundesrepublik nicht zufällig mit der Bildungsexpansion und der Verbreitung der Massenuniversität zusammenfällt. Es zeigt sich darüber hinaus in der politischen Sphäre. In dem Maße, wie sich Politik seit dem 19. Jahrhundert in eine inklusive Veranstaltung verwandelt hat, an der immer mehr Menschen direkt oder indirekt beteiligt sind, in dem Maße, wie sie sich durch Wahlen legitimiert und durch Massenmedien verbreitert, verändern sich ihre zeremoniellen Formen.

Das heißt nicht, daß es keine Rituale mehr gäbe. Auch moderne politische Systeme wissen die Integrations- und Bindungswirkung des Rituals zu schätzen und wollen nicht darauf verzichten. Selbstverständlich wird eine neue Regierung oder ein neues Staatsoberhaupt rituell ins Amt eingeführt. Ihr Einzug ins Parlament, ihre Vereidigung, die Einnahme der Plätze: All das ist genau vom Protokoll vorgeschrieben und trägt alle Kennzeichen des Rituals als einer auf Wiederholbarkeit angelegten, streng formalisierten und zeremonialisierten Handlung mit hohem symbolischen Überschuß (KERTZER 1988). Doch führt ein Vergleich mit dem 18. oder frühen 19. Jahrhundert sofort die Unterschiede vor Augen: Das Ritual ist blaß und säkular geworden, verzichtet auf Dekorum, kommt bescheiden-sachlich daher. Die Krönung

eines preußischen Königs und die ihm von seinen Untertanen dargebrachte Huldigung waren symbolische Akte von hoher emotionaler Intensität, um die großer materieller Aufwand getrieben wurde. Davon ist wenig geblieben – in Deutschland zumindest.

Der Blick in andere europäische Staaten und die USA zeigt ein etwas anderes Bild: In monarchisch regierten Ländern sind Rituale der Amtseinführung, bis hin zu dynastischen Hochzeiten oder Krönungsjubiläen, sehr viel sichtbarer und ausschweifender. Selbst im republikanischen Frankreich und in Nordamerika folgen sie einem feierlicheren und symbolisch reicheren Muster. In Deutschland dagegen hat der dramatische politische Strukturwandel des 20. Jahrhunderts tiefe Spuren hinterlassen. Vor allem die massive Re-Ritualisierung des politischen Lebens während des Nationalsozialismus – man denke nur an die raffiniert orchestrierten und choreographierten Reichsparteitage – hat nach 1945 zu einem tiefen Bruch und Traditionsverlust geführt. Man mag das beklagen, wenn man beobachtet, wie groß die Inklusionskraft solcher Rituale in anderen Ländern ist (in die gleiche Kategorie gehören nationale Feiertage). Aber *erstens* läßt sich die eigene Geschichte nicht umschreiben, und *zweitens* kann man Ritualen durchaus auch kritisch gegenüberstehen.

Denn Rituale sind stets auch Ausdruck der Macht, die Institutionen oder Systeme über ihre Mitglieder ausüben. Sie stabilisieren jene Institutionen, mehr noch: Sie neigen dazu, sie gleichsam stillzustellen, und suggerieren unantastbare Autorität und Kontinuität. Zugleich fordern sie Einheit ein, verschworene Gemeinschaft aller Mitglieder, Homogenität der Interessen. Abweichung, Dissens, Opposition können sich in Ritualen keinen Raum schaffen, Widerspruch ist nicht gestattet. Wenn er trotzdem auftritt, wie in der Studentenbewegung der 1960er Jahre, artikuliert er sich deshalb in schroffer Kritik an eben jenen Formen der Selbstvergewisserung, die Dissens und Interessengegensätze eigentlich nicht zulassen. Indem man die Rituale lächerlich machte und sich von ihnen distanzierte, lehnte man zugleich die Strukturen ab, die sie so eindrucksvoll verkörperten.

Ritualkritik aber heißt nicht zwangsläufig, Rituale insgesamt als leere Form oder bloße Konvention abzulehnen. Selbst Revolutionäre hatten stets einen wachen Sinn für den Wert symbolischen Handelns und die Wirksamkeit institutionalisierter Zeichen. So sehr sie die Rituale des alten Regimes verachteten und zu zerstören suchten, so rasch gingen sie daran, ihre eigene Herrschaft ritualförmig abzusichern und zu verstetigen. Das verbindet die europäischen Revolutionen von 1789 und 1917, aber auch die Machtübernahme italienischer Faschisten und deutscher Nationalsozialisten. Und schließlich haben, wie anfangs angedeutet, auch die „Achtundsechziger“ zur Anerkennung von Ritualen zurückgefunden, gerade in jener Institution, deren erstarrte, vermuffte Formen sie einst massiv bekämpften.

Jenseits ihres gezielten herrschaftstechnischen Einsatzes scheinen Rituale ein allgemeines menschliches Bedürfnis nach wiedererkennbaren, vergemeinschaftenden, symbolisch kodierten und der Alltagssphäre tendenziell enthobenen Handlungsabläufen zu befriedigen.⁶ Klassischerweise werden Rituale vornehmlich in Übergangssituationen praktiziert, die von Individuen, Gruppen und Gesellschaften als prekär, gefährdet und gefährdend angesehen werden. Besonders auffällig und beständig treten sie bei lebenszyklischen Einschnitten auf. Diese Einschnitte kennen zwar historische Verschiebungen und soziale Differenzierungen, folgen aber

⁶ Inwiefern dieses Bedürfnis auch bei Tieren anzutreffen ist, vermag ich nicht zu beurteilen. Die zoologische und ethologische Literatur scheint das anzunehmen, benutzt den Ritualbegriff allerdings ausschließlich im Sinne einer standardisierten Handlungsabfolge, ohne Rekurs auf symbolische Elemente. Vgl. etwa HESS 1996. Unter Humanwissenschaftlern betont vor allem Frits STAAL eine enge Verbindung zwischen „animal ritualization“ und „human ritualization“ (STAAL 1989, S. 136).

einem relativ konstanten und interkulturell ähnlichen Muster: Geburt, Kindheit, Adoleszenz, Erwachsensein, Alter, Tod. Den einzelnen Lebensphasen sind unterschiedliche Institutionen zugeordnet: Herkunftsfamilie, Jugend- und Ausbildungsgruppe, Ehe und Berufsgenossenschaft. Diese Institutionen bilden Initiationsrituale aus, die den Einzelnen aus der alten Gruppe lösen und in eine neue integrieren.

Solche Rituale gibt es sowohl in vormodernen als auch in modernen sozialen Systemen. Das Bedürfnis nach Rhythmisierung, Wiederholung und symbolischer Überhöhung verbindet unsere ultramoderne, dynamische, mobile, hochdifferenzierte und individualisierte Gesellschaft mit kleinräumigen, überschaubaren, wenig segmentierten Gemeinschaften. Menschliche Kulturen haben derartige Formen des Innehaltens, der sozialen Einholung und Rückversicherung in Hülle und Fülle hervorgebracht – und sind noch längst nicht am Ende ihres Einfallstrichters angelangt. Gleichwohl gibt es historische Unterschiede: Unterschiede der Institutionen und sozialen Kontexte, aber auch Unterschiede in der Formensprache, Bedeutung und Reichweite der Rituale selber. Die magisch-religiösen Elemente des Rituals, sein Bezug auf eine umfassende Einheit von Diesseitigem und Jenseitigem, von Natürlichem und Übernatürlichem sind ihm im Prozeß der Rationalisierung und Säkularisierung abhanden gekommen. Wir haben es in der Moderne nicht nur mit einer Entzauberung der Welt, sondern auch mit einer Entzauberung des Rituals zu tun.

Diese Entzauberung zeigt sich nicht zuletzt in der Ubiquität des Ritualbegriffs. Er hat sich alltagssprachlich längst von seinen magisch-religiösen Elementen gelöst und bezeichnet bestimmte regelhafte Formen menschlicher Interaktion, die ein Akt bewußter Inszenierung aus der Fülle übriger Handlungen heraushebt (GOFFMAN 1972). Rituale als Inszenierungen können jederzeit neu erfunden werden: in der privaten Interaktion (zwischen Eltern und Kindern, zwischen Freunden, Liebenden, Ehepartnern), im öffentlichen Raum (bei politischen Demonstrationen wie Lichterketten), im professionellen Umgang. Manche Mediziner und Therapeuten setzen Rituale als Teil des Heilungsprozesses ein.⁷ Das deutet darauf hin, daß selbst neugeschaffene Rituale von ihrem symbolischen Überschuß leben. Sie sind, darin den privaten Familienritualen nicht unähnlich, nicht gänzlich banalisiert worden, sondern unterscheiden sich nach wie vor von anderen standardisierten und regelmäßig wiederholten Handlungen (wie dem morgendlichen Zähneputzen).

Dennoch hat die religiös-magische Entkernung des Rituals, die die historische Entwicklung zur Moderne bestimmt, Folgen für die Prägekraft und Wahrnehmung von Ritualen. In dem Maße, wie sie ohne transzendente, institutionell übergreifende und generalisierbare Wertbezüge auskommen, verengen sich ihr Fokus und ihre soziale Reichweite. Sie werden zu Gruppenritualen, deren integrierende Wirkung nur noch die Mitglieder der jeweiligen Gruppe einschließt. Und sie haben nicht mehr jene fraglose Überzeugungs- und Integrationskraft, die ihren Vorgängern eigen war. Sie können auch jederzeit wieder abgeschafft oder durch andere ersetzt werden.

Dazu hat vor allem ein Faktor beigetragen, der moderne Gesellschaften spezifisch auszeichnet: die Fähigkeit und Bereitschaft zur reflexiven, kritischen Ritualisierung. Damit ist die selbstbewußte Aneignung oder Ablehnung von Ritualen gemeint, wie sie in den Institutionen und Verbänden der Neuzeit beobachtet werden können. Ihr Nutzen wird reflektiert und offen diskutiert, instrumentelle Erwägungen sind legitim. Dieser reflexive Umgang schließt auch die Freiheit ein, auf Rituale ganz zu verzichten – oder Rituale neu zu erfinden. Er er-

möglicht eine Vielfalt institutioneller Arrangements, die Rituale in unterschiedlicher Intensität praktizieren. Und er gestattet es den Teilnehmern, sich eher distanziert oder identifikatorisch dazu zu verhalten. Man muß, darauf haben Ethnologen immer wieder hingewiesen, Rituale nicht hundertprozentig glauben und verinnerlichen, um sie wirksam und beständig zu erhalten. Das heißt trotzdem nicht, daß Rituale bedeutungs- und inhaltslos wären, leerer Formalismus (DOUGLAS 1981, MICHAELS 2001). Ihre Bausteine entstammen einem „Montageplan“ (OPPITZ 2001), der in der Regel auf bedeutungsstarke kulturelle Traditionen zurückgreift und dessen Symbolsprache alles andere als beliebig ist. Selbst neue Rituale – wie die Kerzen, die Westdeutsche in den 1950er Jahren am Silvesterabend ins Fenster stellten, um an die politische Einheit und Unteilbarkeit Deutschlands zu erinnern, oder die Lichterketten, mit denen Bürger und Bürgerinnen in den 1990er Jahren ihre Ablehnung rechtsradikaler Gewalt zum Ausdruck brachten – machen sich ältere Formen zu eigen und zehren von deren Interpretationen.

Literatur

- ALEXANDER, J. C.: Cultural pragmatics: Social performance between ritual and strategy. *Sociological Theory* 22/4, 527–573 (2004)
- ANDRES, J., und SCHWENDELBECK, M.: Das Zeremoniell als politischer Kommunikationsraum: Inthronisationsfeiern in Preußen im „langen“ 19. Jahrhundert. In: FREVERT, U., und HAUPT, H.-G. (Eds.): *Neue Politikgeschichte*. S. 27–81. Frankfurt (Main): Campus 2005
- BELL, C. M.: *Ritual: Perspectives and Dimensions*. New York u. a.: Oxford University Press 1997
- BRAUNGART, W.: *Ritual und Literatur*. Tübingen: Niemeyer 1996
- BRETSCHNEIDER, F., und PASTERNAK, P. (Eds.): *Akademische Rituale. Symbolische Praxis an Hochschulen*. Leipzig 1999
- DOUGLAS, M.: *Ritual, Tabu und Körpersymbolik. Sozialanthropologische Studien in Industriegesellschaft und Stammeskultur*. Frankfurt (Main): Suhrkamp 1981
- FREVERT, U.: *Ehrenmänner. Das Duell in der bürgerlichen Gesellschaft*. München: C. H. Beck 1991
- FREVERT, U.: *Die kasernierte Nation. Militärdienst und Zivilgesellschaft in Deutschland*. München: C. H. Beck 2001
- GODELIER, M.: *Die Produktion der Großen Männer*. Frankfurt: Campus 1987
- GOFFMAN, E.: *Interaction Ritual: Essays on Face-to-Face Behaviour*. Harmondsworth: Penguin 1972
- GRIESSINGER, A.: *Das symbolische Kapital der Ehre. Streikbewegungen und kollektives Bewußtsein deutscher Handwerksgelesen im 18. Jahrhundert*. Frankfurt (Main): Ullstein 1981
- HESS, J.: *Menschenaffen – Mutter und Kind*. Basel: Reinhardt 1996
- HÖLSCHER, L. (Ed.): *Atlas zur religiösen Geographie im protestantischen Deutschland*. 4 Bde. Berlin u. a.: de Gruyter 2001
- HOFFMANN, S.-L.: *Politik der Geselligkeit. Freimaurerlogen in der deutschen Bürgergesellschaft 1840–1918*. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht 2000
- HOLENSTEIN, A.: *Die Huldigung der Untertanen. Rechtskultur und Herrschaftsordnung 800–1800*. Stuttgart: Fischer 1991
- HUGHES, T.: *Tom Brown's Schooldays*. Cambridge 1857
- ISEMEYER, M., und SÜHL, K. (Eds.): *Feste der Arbeiterbewegung. 100 Jahre Jugendweihe*. Berlin: Elefantentpress 1989
- KERTZER, D. I.: *Ritual, Politics and Power*. New Haven: Yale University Press 1988
- KESSLER, H. Graf: *Gesichter und Zeiten*. Frankfurt: Fischer 1988
- KOSELLECK, R.: *Kritik und Krise. Ein Beitrag zur Pathogenese der bürgerlichen Welt*. München: Alber 1959
- MICHAELS, A.: „Le rituel pour le rituel“ oder wie sinnlos sind Rituale? In: CADUFF, C., und PFAFF-CZARNECKA, J. (Eds.): *Rituale heute. Theorien – Kontroversen – Entwürfe*. 2. Aufl., S. 23–47. Berlin: Reimer 2001
- MÜLLER, E. W. (Ed.): *Geschlechtsreife und Legitimation zur Zeugung*. Freiburg: Herder 1985
- NIPPERDEY, T.: *Verein als soziale Struktur in Deutschland im späten 18. und frühen 19. Jahrhundert*. In: NIPPERDEY, T.: *Gesellschaft, Kultur, Theorie*. S. 174–205. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht 1976
- OPPITZ, M.: *Montageplan von Ritualen*. In: CADUFF, C., und PFAFF-CZARNECKA, J. (Eds.): *Rituale heute. Theorien – Kontroversen – Entwürfe*. 2. Aufl., S. 73–95. Berlin: Reimer 2001
- PRODI, P. (Ed.): *Glaube und Eid*. München: Oldenbourg 1993
- PRODI, P.: *Sakrament der Herrschaft. Der politische Eid in der Verfassungsgeschichte des Okzidents*. Berlin: Dunker & Humblot 1997

⁷ Ein Beispiel für viele: VERRES 2005.

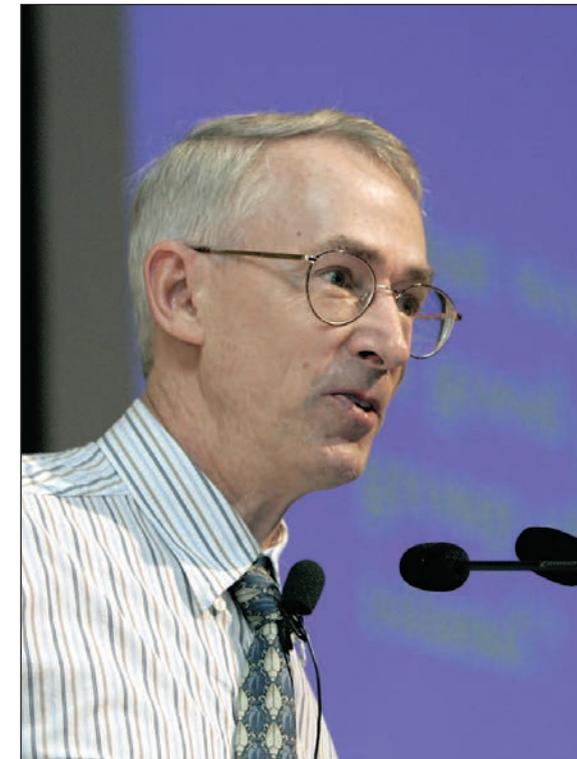
- RÜEGG, W. (Ed.): Geschichte der Universität in Europa. Bd. II. München: C. H. Beck 1996
RUPPERT, W. (Ed.): Die Arbeiter. Lebensformen, Alltag und Kultur von der Frühindustrialisierung bis zum „Wirtschaftswunder“. München: C. H. Beck 1986
SCHLUMBOHM, J., DUDEN, P., GÉLIS, J., und VEIT, P. (Eds.): Rituale der Geburt. Eine Kulturgeschichte. München: C. H. Beck 1998
SOEFFNER, H.-G.: Die Ordnung der Rituale. Frankfurt (Main): Campus 1995
STAAL, F.: Rules without Meaning: Ritual, Mantras and the Human Sciences. New York: Peter Lang 1989
STÜRMER, M. (Hg.): Herbst des Alten Handwerks. München: dtv 1979
TIMM, U.: Rot. Frankfurt: Suhrkamp 2001
TURNER, V.: Das Ritual. Struktur und Antistruktur. Frankfurt (Main): Campus 1989
VAN GENNEP, A.: Übergangsriten (Les rites de passage, 1909). Frankfurt (Main): Campus 1999
VERRES, R.: Was uns gesund macht. Freiburg: Herder 2005
WILSON, M.: Nyakyusa ritual and symbolism. Amer. Anthropologist 56, 2 (1954)
WISSELL, R.: Des Alten Handwerks Recht und Gewohnheit. Bd. 3. 2. Aufl. Berlin 1981
WULF, C.: Anthropologie. Geschichte, Kultur, Philosophie. Reinbek: Rowohlt 2004

Prof. Dr. Ute FREVERT
Department of History
Yale University
P.O. Box 208324
New Haven, CT 06520-8324
USA
Tel.: +1 203 4321366
Fax: +1 203 4327587
E-Mail: ute.frevert@yale.edu

Auf dem Prüfstand: Schlüsselhypothesen zur Evolution von Religion in einer Stichprobe¹

David Sloan WILSON (Binghamton, NY/USA)

Mit 2 Tabellen



¹ Deutsche Übersetzung des Aufsatzes WILSON, D. S.: Testing major evolutionary hypotheses about religion with a random sample. *Human Nature* 16/4, 419–446 (2005). Mit freundlicher Genehmigung von Transaction Publishers Piscataway, NJ (USA). Übersetzung Gesell-Fachübersetzungen (Halle/Saale) in einer von der Redaktion überarbeiteten Fassung.

In der Regel nutzen Evolutionsbiologen für die Untersuchung aller Merkmale verschiedene Haupthypothesen. Die möglicherweise wichtigste Frage dabei ist, ob ein bestimmtes Merkmal sich auf dem Wege der natürlichen Auslese entwickelt und den Organismus an seine Umwelt anpaßt. Ist das der Fall, werden zur Erkenntnis der jeweils wirkenden Auslesekräfte spezifischere Hypothesen benötigt. So kann sich z. B. ein bestimmtes Sozialverhalten entweder durch Auslese innerhalb der Gruppe entwickeln (Verbesserung der Eignung eines bestimmten Individuums gegenüber anderen in derselben Gruppe) oder durch Auslese zwischen mehreren Gruppen (Verbesserung der Eignung einer Gruppe im Vergleich zu anderen Gruppen in der Gesamtpopulation). Ist das Merkmal kein Produkt der natürlichen Selektion, muß dessen Existenz mit Hilfe anderer spezifischer Hypothesen erklärt werden. Vielleicht handelt es sich um ein Vorfahrenmerkmal, das sich innerhalb der Abstammungslinie nicht verändert. Möglicherweise war es an vergangene Bedingungen angepaßt, konnte aber mit dem Tempo der Umweltveränderungen nicht Schritt halten. Denkbar wäre auch, daß es sich um ein wertvolles Nebenprodukt eines anderen Merkmals handelt, das wiederum Ergebnis der natürlichen Auslese war usw.

Diese Hypothesen schließen sich nicht gegenseitig aus. Evolution ist ein vielschichtiger Prozeß. Merkmale entstehen meist im Gefolge verschiedener Selektionsdrücke und Beschränkungen der natürlichen Auslese. Dennoch bedarf es noch der verschiedenen Hypothesen, um die Kombination der Faktoren zu bestimmen, die in jedem einzelnen Fall wirksam wird. Um ein paradigmatisches Beispiel herauszugreifen: Morphologische, Verhaltens- und lebensgeschichtliche Merkmale von Guppys (*Poecilia reticulata*) werden durch eine Mannigfaltigkeit von Selektionsdrücken beeinflusst, insbesondere durch Prädation und weibliches Paarungsverhalten (ENDLER 1995). In den Unterläufen der Flüsse sind die Räuber größer und zahlreicher als in den Oberläufen, was zur Herausbildung eines entsprechenden Gradienten von Merkmalen bei Guppys führt. Werden Guppys aus den Unterläufen in die Oberläufe der Nebenflüsse umgesetzt, in denen die Räuber fehlen, entwickeln sie rasch die typischen Merkmale von Guppys in räuberlosen Umgebungen. Ein Merkmal, welches sich nicht ändert, ist die Lebendgeburt der Nachkommen bei allen Vertretern der Familie, zu denen die Guppys zählen. Dieses Merkmal ändert sich innerhalb der Stammesentwicklung nicht. Jahrzehntelange Forschung auf der Grundlage der Evolutionstheorie hat trotz hoher Komplexität, zahlreicher Selektionsdrücke und Bedingungen für die natürliche Auslese zu einem umfassenden Verständnis der Guppys geführt.

Dieser Ansatz der Bildung und Prüfung von Evolutionshypothesen, der bei Untersuchungen nichthumaner Species wie etwa Guppys üblich ist, findet zunehmend auch bei der Betrachtung des Humanphänomens Religion Anwendung (z. B. BULBULIA 2004, HINDE 1999, IRONS 2001, SOSIS und ALCORTA 2003, WILSON 2002). Er ist nicht nur als Richtschnur für aktuelle Forschungen geeignet, sondern er dient auch der modernen Auslegung älterer Forschungsarbeiten, bei denen die Evolutionstheorie noch keine Rolle spielte. Tabelle 1 zeigt die Einteilung der Schlüsselthesen über Religion in Gegenwart und Vergangenheit aus der Perspektive der Evolution. Ausgangspunkt ist der Unterschied zwischen adaptiven und nicht-adaptiven Hypothesen, wobei unter jeder Überschrift jeweils spezifischere Hypothesen angeordnet sind. Beginnend mit den Adaptionshypothesen, besteht eine Möglichkeit darin, daß Religionen darauf angelegt sind, dem Nutzen der jeweiligen Religionsgruppe zu dienen. Diese Hypothese hat eine lange Geschichte in den Sozialwissenschaften, einschließlich DURKHEIMS *Elementary Forms of Religious Life* (Erstveröffentlichung 1912). Nach den Maßstäben der modernen Evolution muß sie im Sinne von genetischer und kultureller Gruppenselektion ver-

Zusammenfassung

Religionstheorien, die sich auf ausgewählte Beispiele stützen, setzen sich der Kritik aus, gezielt gewählt worden zu sein. Im vorliegenden Beitrag werden Schlüsselthesen der Evolution zur Religion anhand einer Stichprobe von 35 Religionen aus einer 16-bändigen Enzyklopädie der Weltreligionen untersucht. Die Ergebnisse stützen die im Buch *Darwin's Cathedral: Evolution, Religion, and the Nature of Society* (WILSON 2002) aufgestellte Hypothese der Anpassung auf Gruppenebene. Die Mehrzahl der Religionen in der Probe zeichnet aus, was DURKHEIM „weltliche Nützlichkeit“ genannt hat. Ihre auf das Jenseits gerichteten Elemente lassen sich weitestgehend als proximate Mechanismen, die adaptive Verhaltensweisen motivieren, erklären. Der Jainismus, die Religion in der Probe, welche anfangs am schwierigsten im Hinblick auf die Hypothese von der Anpassung auf Gruppenebene erschien, unterstützte bei näherer Betrachtung die Hypothese hervorragend. Die Ergebnisse der Untersuchung sind nicht abschließend und sollten von Vertretern verschiedener Disziplinen im Rahmen von Evolutionsstudien zu Religionen fortgeführt werden.

Abstract

Theories of religion that are supported with selected examples can be criticized for selection bias. This paper evaluates major evolutionary hypotheses about religion with a random sample of 35 religions drawn from a 16-volume encyclopedia of world religions. The results are supportive of the group-level adaptation hypothesis developed in *Darwin's Cathedral: Evolution, Religion, and the Nature of Society* (WILSON 2002). Most religions in the sample have what DURKHEIM called secular utility. Their otherworldly elements can be largely understood as proximate mechanisms that motivate adaptive behaviors. Jainism, the religion in the sample that initially appeared most challenging to the group-level adaptation hypothesis, is highly supportive upon close examination. The results of the survey are preliminary and should be built upon by a multidisciplinary community as part of a field of evolutionary religious studies.

standen werden. Eine zweite Möglichkeit besteht darin, daß Religionen dem Nutzen einzelner Mitglieder (wahrscheinlich den Religionsführern) auf Kosten der übrigen Mitglieder dienen (CRONK 1994). So war beispielsweise die protestantische Reformation zum Teil eine Reaktion auf die Mißstände innerhalb der katholischen Kirche, welche die Eliten eindeutig auf Kosten der Laienschaft privilegierten. In der Sprache der Evolutionstheorie muß diese Hypothese im Sinne der genetischen und kulturellen Innergruppenselektion verstanden werden. Eine dritte Möglichkeit ist, daß die mit der Religion verbundenen kulturellen Merkmale sich wie „Parasiten“ entwickeln, indem sie sich ohne Nutzen für Einzelne oder für Gruppen in den Köpfen festsetzen. Diese Auffassung wird vom modernen Meme-Konzept propagiert (AUNGER 2002, BLACKMORE 1999, DAWKINS 1976), findet sich aber auch in früheren Religions-theorien, die nicht ausdrücklich in Termini der Evolutionstheorie gefaßt sind (z. B. DURKHEIM 1995, S. 49).

Tab. 1 Evolutionäre Schlüsselhypothesen über Religion

Religion als Anpassung	Religion als Nichtanpassung
Anpassung auf Gruppenebene (Nutzen für Gruppen im Gegensatz zu anderen Gruppen)	Adaptiv in Kleingruppen verwandter Individuen, jedoch nicht in modernen sozialen Umgebungen
Anpassung auf Individualebene (Nutzen für Einzelmitglieder im Gegensatz zu anderen Einzelmitgliedern derselben Gruppe)	Nebenprodukt von Merkmalen, die in anderen Religionskontexten adaptiv sind
Kulturparasitismus (Nutzen für Kulturmerkmale ohne Bezug auf einzelne Menschen oder Menschengruppen)	

Im Bereich der nicht-adaptiven Hypothesen könnten die mit der Religion verbundenen Merkmale in vergangenen Umwelten adaptiv gewesen sein, als die sozialen Gruppen noch klein waren und zumeist aus genetisch miteinander verwandten Individuen bestanden, jedoch nicht mehr in den großen Gruppen genetisch nicht miteinander verwandter Individuen, die moderne Religionsgemeinschaften ausmachen (ALEXANDER 1987). Andererseits könnten die mit Religion verbundenen Merkmale wichtige Nebenprodukte von Merkmalen sein, die außerhalb des Religionskontextes einem Nutzen dienen. Zwei Versionen der Nebenprodukthypothese sind besonders zu erwähnen, da sie in aktuellen Untersuchungen zur Religion eine herausragende Rolle spielen. Soziologen wie Rodney STARK und William BAINBRIDGE interpretieren Religion als Nebenprodukt ökonomischen Denkens (STARK 1999, STARK und BAINBRIDGE 1985, 1987). Die Grundidee ist, daß Menschen Kosten-Nutzen-Betrachtungen anstellen, um in nichtreligiösen Kontexten möglichst großen Nutzen zu erlangen. Manche dieser Wünsche sind unerreichbar, wie z. B. Regen während einer Dürre oder ewiges Leben, doch hindert das die Menschen nicht daran, danach zu streben oder zu versuchen, sie zu erreichen. Dazu erfinden sie übernatürliche Wesen, mit denen sie um das für sie Unerreichbare in Dialog treten. In der Sprache der Evolution heißt das, Religion ist ein funktionsloses Nebenprodukt mentaler Prozesse, die in außerreligiösen Kontexten in hohem Maße adaptiv sind.

In jüngerer Zeit sehen Evolutionsbiologen wie BOYER (2001), ATRAN (2002), ATRAN und NOYENZAYAN (2004) und GUTHRIE (1995) Religion als ein Nebenprodukt auf andere Weise als

STARK und BAINBRIDGE. Ihre Auffassungen unterscheiden sich in erster Linie darin, daß sie von der Evolutionspsychologie statt der Ökonomie als Ausgangskonzeption des menschlichen Geistes ausgehen. Der Mensch wird nicht generell als vom Kosten-Nutzen-Denken bestimmt gesehen, sondern es wird davon ausgegangen, daß er zahlreiche kognitive Module benutzt, die sich zur Lösung spezifischer Anpassungsprobleme an die Umwelt der Vorfahren herausgebildet haben. Bei diesen Modulen handelte es sich um Anpassungen, zumindest dann, wenn sie in der Vergangenheit in nicht-religiösen Kontexten Ausdruck fanden, ihre Verwendung in religiösen Zusammenhängen in Vergangenheit oder Gegenwart aber funktionslos bleibt. Diese moderne Evolutionstheorie von Religion unterscheidet sich von der modernen Wirtschaftstheorie in der Grundkonzeption des menschlichen Geistes, beide sind sich jedoch ähnlich, indem sie Religion als funktionsloses Nebenprodukt von Merkmalen betrachten, die in außerreligiösen Kontexten funktional sind.

Zwei wichtige Einsichten lassen sich aus dieser Klassifikation von Hypothesen bereits ableiten, bevor wir diese testen. *Erstens*: Alle Hypothesen sind plausibel und könnten bis zu einem bestimmten Grade wahr sein. *Zweitens*: Sie treffen sehr verschiedene Aussagen, die aber empirisch zu prüfen sein dürften. Eine Religion, deren Bestimmung das Wohl der Gruppe ist, muß anders strukturiert sein als eine Religion, die als Werkzeug zur Vorteilserlangung innerhalb der Gruppe dient, diese wiederum muß anders strukturiert sein als eine Religion, die als „kultureller Parasit“ keinem anderen Nutzen als dem Eigennutzen zuneigt. Deren Struktur wiederum muß anders beschaffen sein als die einer Religion, auf die der Begriff „Entwurf“ nicht zutrifft, zumindest nicht im religiösen Kontext. Diese verschiedenen Konzeptionen von Religion sind so unterschiedlich, daß es überraschend wäre, wenn sie sich empirisch nicht gegeneinander abgrenzen ließen. Kurz gesagt, kann mit der Evolutionstheorie das gleiche umfassende Verständnis von Religion erzielt werden, das wir für die Guppys (und das übrige Leben) erreicht haben – und das trotz der Komplexität der Situation und der zahlreichen Selektionsdrücke und Bedingungen.

Darwin's Cathedral: Evolution, Religion, and the Nature of Society (WILSON 2002) ist mein ganz persönlicher Versuch zur Erklärung der Religion vom Standpunkt der Evolution aus. Meine zentrale These dabei lautet, daß Religionen im wesentlichen (wenn auch bei weitem nicht gänzlich) Anpassungen auf Gruppenebene sind. Mit ihren expliziten Verhaltensvorschriften, theologischen Überzeugungen und sozialen Praktiken sind die meisten Religionen in beeindruckender Weise darauf angelegt, Instruktionen zu Verhaltensweisen, zur Förderung der Zusammenarbeit zwischen den Gruppenmitgliedern sowie zur Vermeidung passiven Schmarotzertums und aktiver Ausbeutung innerhalb der Gruppe zu entwickeln. Diejenigen Merkmale von Religion, welche am stärksten irrational erscheinen und die die Erklärung von Religion auf wissenschaftlicher Grundlage stets zu einem solchen Rätsel gemacht haben, lassen sich weitestgehend als Teil der „Sozialphysiologie“ (ein Begriff, wie er von Biologen, die sich mit Staaten bildenden Insekten beschäftigen, benutzt wird) begreifen, die es der Religionsgruppe ermöglicht, adaptiv zu funktionieren.

Bevor wir weitergehen, ist es an dieser Stelle wichtig, festzuhalten, weshalb ich eine einzelne Hypothese (nämlich Anpassung auf Gruppenebene) vertrete, obwohl ich doch einer multifaktoriellen Betrachtungsweise von Evolution (wie auch von HINDE 1999 betont) nicht ablehnend gegenüber stehe. Ein Grund ist historischer Natur. Nicht nur, daß die Gruppenselektion von vielen Evolutionsbiologen in der Mitte des 20. Jahrhunderts abgelehnt wurde, sondern auch zahlreiche Sozialwissenschaftler standen der damit verbundenen Tradition des Funktionalismus in dieser Zeit ebenso ablehnend gegenüber. Es bedarf daher ernster wissen-

schaftlicher Arbeit, um die wissenschaftliche Anerkennung jenes Grundkonzepts von den Gruppen als adaptiven Einheiten wieder herzustellen (in Kapitel 1 und 2 von *Darwin's Cathedral*), noch bevor wir es auf das Thema Religion anwenden können. Ein weiterer Grund basiert auf dem Unterschied zwischen Religion in idealisierter und effektiv praktizierter Form. Das Verhalten von Menschen im Namen der Religion ist häufig von Eigennutz geprägt, wie im Falle der katholischen Praxis, die Anlaß zur Reformation der Protestanten war. Häufig werden derartige Praktiken jedoch als „Verfälschung“ von Religion und nicht als Teil der „wahren“ Religion betrachtet, die sich stärker am „reinen“ Wohl der Gruppe orientiert. Die Bedeutung solcher Begriffe wie „Ideale“, „Verfälschung“, „wahr“ und „rein“ verlangt nach einer Analyse der kulturellen Evolution aus evolutionärer Perspektive als Teil des breiten theoretischen Hintergrundes für die Untersuchung von Religion mit dem Grundkonzept von Gruppen als adaptiven Einheiten. Ideale sind Phänomene eigener Art mit Folgen für das tatsächliche Verhalten, wenn auch nicht mit uneingeschränktem Erfolg. Theoretisch können religiöse Ideale jede der Haupthypothesen in Tabelle 1 widerspiegeln. Die Tatsache, daß sie die Hypothese der Anpassung auf Gruppenebene stärker reflektieren als tatsächliches Verhalten, ist bemerkenswert.

Bei der Prüfung der oben dargelegten Schlüsselhypothesen ist es wichtig, die Bedeutung beschreibender Informationen neben quantitativen Angaben zu beachten. DARWIN hat seine Theorie der Evolution äußerst erfolgreich auf der Grundlage von beschreibenden Informationen zu Pflanzen und Tieren aufgebaut, die von Naturwissenschaftlern seiner Zeit zusammengetragen wurden, von denen die meisten der Überzeugung waren, Gottes Werk zu studieren. Die traditionelle Religionsgelehrsamkeit bietet einen ähnlichen Informationskorpus über Religionsgruppen im Verhältnis zu ihrer jeweiligen Umwelt, das zur Prüfung von Evolutionshypothesen über Religion herangezogen werden kann. Quantitative Methoden *verfeinern* die wissenschaftliche Untersuchung, *bestimmen* sie jedoch nicht. Obwohl ich daher in *Darwin's Cathedral* die moderne sozialwissenschaftliche Literatur zur Religion einer kritischen Wertung unterziehe, berücksichtige ich in hohem Maße auch ausführliche beschreibende Arbeiten zu einzelnen Religionssystemen in Beziehung zur jeweiligen Umwelt.

Diese Arbeiten beinhalten überzeugende Beweise für den Nutzen von Religion auf Gruppenebene, setzen sich jedoch gleichzeitig dem Vorwurf der Voreingenommenheit der Auswahl aus. Könnte nicht jemand anderes handverlesene Beispiele für das Fehlen der Adaptionsfähigkeit von Religion bieten, etwa die zölibatären Shaker oder den selbstmörderischen Jonestown-Kult (Tempel des Volkes)? Mit Stichproben gelangt man zu einer effektiven Lösung dieses Problems. Werden die Haupthypothesen für eine Stichprobe von Religionen, deren Auswahl ohne Hinblick auf die Hypothesen erfolgt, ausgewertet, sind die für die Stichprobe erhaltenen Ergebnisse (abgesehen von unvorhergesehenen Fehlern bei der Probenzusammenstellung) repräsentativ für die Population, aus der die Probe genommen wurde.

In Kapitel 4 von *Darwin's Cathedral* habe ich eine solche Übersicht durch stichprobenartige Auswahl von 25 Religionssystemen aus der 16-bändigen *Encyclopedia of Religion* (ELIADE 1987) begonnen. In diesem Beitrag hier lege ich eine erste Analyse dieser Übersicht vor, die auf 35 Religionssysteme erweitert wurde. Es handelt sich dabei nicht um ein abschließendes Urteil, sondern vielmehr um den ersten Schritt einer Aufgabe, die am besten von einer Gruppe von Religionswissenschaftlern weitergeführt werden sollte, welche für eine ausführliche Bewertung der „Naturgeschichte“ der Religionen in der Stichprobe qualifiziert sind. Doch selbst auf der vorbereitenden Stufe ergeben sich wichtige Erkenntnisse zur Natur von Religion unter dem Blickwinkel der Evolution.

Methoden

Zur Aufnahme der Religionen in die Stichprobe wurde ein Rechnerprogramm erstellt, welches willkürlich den Band und die Seitenzahlen innerhalb jedes Bandes auswählte. Die mit Hilfe dieses Verfahrens erhaltenen Einträge wurden danach an Hand der nachstehenden Kriterien untersucht, ob sie in die Stichprobe aufgenommen werden konnten. War dies nicht der Fall, blätterte ich weiter bis zum ersten Eintrag, der die Kriterien erfüllte.

Als Qualifikationskriterium für die Einträge galt, daß sie sich einem einzelnen Religionssystem zuordnen lassen mußten, definiert als eine erkennbare Gruppe von Menschen mit Glaubensgrundsätzen und Praktiken, die sich von anderen Glaubensgrundsätzen und Praktiken unterschieden. Bei allen Systemen wurde deren Religionscharakter auf Grund der Tatsache angenommen, daß sie Eingang in eine Religionszyklopädie gefunden hatten. Anders gesagt, beruhte meine Definition von Religion auf den Aufnahmekriterien in die Enzyklopädie, und ich verzichtete damit auf eine eigene Definition. Dies war entscheidend für die Ausschaltung meiner eigenen Voreingenommenheit bei der Auswahl; wohl aber mag die entsprechende Voreingenommenheit der Herausgeber der Enzyklopädie eine Prüfung verdienen. Bei den Einträgen, die zur Aufnahme in die Stichprobe qualifizierten, konnte es sich um Namen von Personen, die eine neue Religionsbewegung ins Leben gerufen hatten (z. B. EISAI, Gründer der Rinzaï-Schule des Zen-Buddhismus in Japan im 12. Jahrhundert), um Götter (z. B. *Mithra*, eine iranische Gottheit und Gott einer römischen Mysterienreligion) oder den Namen der Bewegung selbst (z. B. der in Vietnam im 12. Jahrhundert entstandene Cao-Dai-Kult) handeln. Kleinere Religionsbewegungen im Rahmen einer größeren Religionstradition wurden berücksichtigt, da die größeren Traditionen selbst als kleine Bewegungen begannen. Einträge zu allgemeinen Themen wie „Mythos“ oder „Polytheismus“ wurden nicht berücksichtigt, da sie sich keinem einzelnen Religionssystem zuordnen ließen. Etwas willkürlich habe ich auch Religionen im Zusammenhang mit Stammesgruppen ausgeschlossen, von denen kein Ausgangsjahr bekannt war. In *Darwin's Cathedral* fanden sie hingegen Eingang, und ich betrachte sie als Stütze meiner Kernthese.

Dieses Auswahlverfahren ist nicht gänzlich frei von Voreingenommenheit. In manchen Fällen waren Urteile gefragt, ob ein Eintrag die Kriterien erfüllte oder nicht, was im weiteren noch darzulegen sein wird. Das Verfahren gibt langen Einträgen gegenüber kurzen den Vorrang. Die großen Religionstraditionen sind möglicherweise nicht gleichwertig vertreten, da einige (wie z. B. die Protestanten) stärker als andere (z. B. die Katholiken) in getrennte Bewegungen gespalten sind. Die gesamte Enzyklopädie mag hinsichtlich Aufnahmekriterien, Autoren und den über die verschiedenen Religionen aus aller Welt und allen Zeiten enthaltenen Angaben Voreingenommenheiten unterliegen. Gesellschaften auf Staatsebene sind wahrscheinlich überrepräsentiert. Wichtig jedoch ist, daß die Auswahl der Religionen nicht auf der Grundlage der evolutionären Haupthypothesen erfolgte. Eine Auswahl tendenz zugunsten von Religionen, die bekanntermaßen eine bestimmte bevorzugte Hypothese stützen, wurde erfolgreich vermieden.

Eine potentielle Tendenz verdient jedoch besondere Erwähnung. Religionen, die in dem Sinne erfolgreich sind, daß sie Bestand haben und sich ausbreiten, haben größere Chancen, in die Enzyklopädie aufgenommen zu werden, als Religionen, die klein bleiben und rasch wieder verschwinden. Eine solche Tendenz – so sie bestünde – wäre Kulturrevolution in Aktion. Die Aussage, daß „die meisten Religionen eine weltliche Nützlichkeit“ haben, wäre nicht schon deshalb falsch, weil sie auf einer tendenziösen Probe beruht, sondern hier eher wahr,

weil die Enzyklopädie den Ausbreitungsprozeß der kulturellen Evolution spiegelt. Eine Korrektur der „Tendenz“ böte einen vollständigeren „Fossilbericht“, der die flüchtigen „Verlierer“ ebenso wie die permanenten „Gewinner“ einschliesse, und es damit gestattete, den Prozeß der kulturellen Evolution in noch mehr Details zu studieren. Wie noch darzulegen sein wird, enthält die Stichprobe neben den „Gewinnern“ auch einige „Verlierer“-Religionen, was sich als höchst aufschlußreich erweist.

Die Enzyklopädie diente der Festlegung der Stichprobe und bot daneben in geringem Umfang auch Informationen zu den einzelnen Religionen. Der Hauptteil der Recherche betraf das Erfassen möglichst umfassender Informationen zu jeder einzelnen Religion und deren Auswertung im Licht der Haupthypothesen der Evolution. Dies war mit Hilfe von 35 Studenten im Rahmen eines mit 4-Credit-Punkten belegten Kurses „Evolution und Religion“ möglich. Neben dem Studium von *Darwin's Cathedral* und Diskussionen des Themas allgemein, wurde jedem Studenten eine bestimmte Religion übertragen, mit der er sich im Laufe des Semesters zu beschäftigen hatte (dies war auch der Grund, für die Erweiterung der Stichprobe auf 35 Religionen), an deren Endpunkt eine Bibliographie sowie die textliche Beantwortung von 32 Fragen zu Schlüsselthemen (auf Anfrage erhältlich) stand. Die Beratung des Erstentwurfs der Antworten erfolgte so rechtzeitig, daß jeder Student ausreichend Zeit zur Einarbeitung notwendiger Korrekturen in die Endfassung hatte. Auf diese Weise war sicher gestellt, daß die Studenten sich jeweils den Hauptfragen der Evolution zuwandten und der Vergleich zwischen den Religionen erleichtert wurde.

Dieses Material bildete die Grundlage für meine eigene Analyse. Dabei habe ich mich nicht ausschließlich auf die studentischen Ausarbeitungen gestützt, sondern diese als Anleitung für mein eigenes Studium der Primärliteratur genutzt. Wie bereits oben betont, war der Einsatz von Studenten zur Informationserfassung und für den beschreibenden Teil meiner Analyse nur der erste Schritt eines Unternehmens, das letztendlich die Gelehrten einbeziehen sollte, welche die wahren „Naturhistoriker“ für die Religionen in der Stichprobe sind.

Beschreibende Analyse

Tabelle 2 enthält die in die Untersuchung aufgenommenen Einträge der Enzyklopädie sowie kurze Angaben zu den Religionen, die sie repräsentieren. Die wichtigsten Traditionen von Buddhismus, Taoismus, Judaismus, Christentum und Islam sind vertreten, nicht jedoch Hinduismus und Konfuzianismus. Jainismus und Zoroastrianismus gehören zu den ältesten heute noch praktizierten Religionen, wenn auch nur von einer kleinen Minderheit der Weltbevölkerung. Ebenfalls aufgenommen wurde ein Kult mit afrikanischen Wurzeln (M'Bona), ein auf einem Vorfahren beruhender Kult (DSCHINGIS KHAN) und zwei moderne Bewegungen, zusammengesetzt aus den großen Religionstraditionen und anderen Einflüssen (Caodaismus und die Theosophische Gesellschaft). Die Religionen umspannen den Globus und ein Zeitfenster vom 25. Jahrhundert v. u. Z. bis zur Gegenwart.

Die Mehrzahl der Einträge gilt großen wie kleinen religiösen Bewegungen, die die Aufnahmekriterien eindeutig erfüllen. Einige erweisen sich im Rückblick in mancher Hinsicht als fragwürdig. Der Eintrag „Heiligenkult“ bezieht sich auf zahlreiche Kulte innerhalb des Katholizismus, nicht einen Einzelkult, was die Bewertung erschwert. Die heilige KATHARINA VON SIENA spielte in der katholischen Kirche des 14. Jahrhunderts eine wichtige aussöhnende Rolle, indem sie versuchte, die Spaltung zu verhindern, statt sie zu forcieren. Ziya GÖKALP war

eher ein politischer als ein Religionsführer, der die Trennung von Kirche und Staat für die türkische Nation prägend beeinflusste. *Agudat Yisra'el* ist an sich keine religiöse Bewegung, sondern ein politischer Arm einer bereits bestehenden Religionsbewegung (Orthodoxer Judaismus). Obwohl diese Eintragungen nur marginal zur Aufnahme in die Stichprobe qualifizieren, sind sie in noch ausführlicher darzulegender Weise aufschlußreich. Wichtig ist die

Tab. 2 35 aus der Enzyklopädie der Religionen (ÉLIADE 1987) zufällig ausgewählte Religionen

Bd.	Seite	Eintrag	Beschreibung (sofern nicht anders angegeben, Zeitangaben u. Z.)
1	149	Agudat Yisra'el	Orthodoxer Judaismus, 20. Jh.
1	161	Airyana Vaejah	Zoroastrianismus, Persien, 10. Jh. v. u. Z.
1	211	Allen, R.	afrikanische Methodistische Episkopalkirche, 19. Jh.
1	492	Atisa	tibetischer Buddhismus, 10. Jh.
3	72	Cao Dai	Mischung verschiedener Traditionen, Vietnam, 20. Jh.
3	120	Katharina von Siena	katholische Kirche, Italien, 14. Jh.
3	230	Chen-Jen	chinesischer Taoismus, 3. Jh.
3	328	Chinggis Kahn	Ahnenkult, Mongolei, 13. Jh.
3	333	Chinul	koreanischer Buddhismus, 13. Jh.
4	172	Heiligenkult	katholische Kirche, allgemein
4	200	Dalai Lama	tibetischer Buddhismus, allgemein
4	236	Dan Fodio, Usuman	nigerianisch-islamische Erweckungsbewegung, 18. Jh.
4	326	Dge-Lugs-Pa	tibetischer Buddhismus, 15. Jh.
5	72	Eisai	Rinzai-Schule des japanischen Zen-Buddhismus, 12. Jh.
5	156	Eshmun	phönizischer Gott der Heilkunde, 15. Jh. v. u. Z.
6	66	Gökalp, Z.	türkischer Nationalismus, 20. Jh.
7	119	Iman und Islam	Islam, allgemein
7	215	Religion der Industalkultur	Westindien, 25. Jh. v. u. Z.
8	104	Jodoshu	Reines-Land-Sekte des japanischen Buddhismus, 12. Jh.
8	423	Lahori, Muhammad Ali	Lahore-Zweig der islam. Ahmadiyah-Bewegung, 20. Jh.
9	128	Mahavira	Jainismus (Indien), 6. Jh. v. u. Z.
9	188	Maranke, J.	apostolische Kirche von John Maranke (Afrika), 20. Jh.
9	287	Maurice, F. D.	christlicher Sozialismus (England), 20. Jh.
9	291	Mawdudi, Sayyid Abu Al-a'la	indisch-islamische Erweckungsbewegung, 20. Jh.
9	303	M'Bona	afrikanischer Territorialkult, 19. Jh.
9	579	Mithra/Mithraismus	iranische Gottheit und Gott der römischen Mysterienreligion, ca. 4. Jh. v. u. Z.
10	290	Nagarjuna	indischer Buddhismus, 2. Jh.
10	297	Nahman von Bratslav	Bratslav-Sekte des Hasidischen Judaismus, Ukraine, 18. Jh.
10	360	Neo-Orthodoxie	protestantische Erweckungsbewegung, Europa und Amerika, 20. Jh.
11	226	Pelagianismus	von Augustinus bekämpfte christliche Lehre, 4. Jh.
11	324	Pietismus	protestantische Reformationsbewegung, Europa, 17. Jh.
12	335	Rennyō	Echte Reines-Land-Sekte des japanischen Buddhismus, 15. Jh.
14	38	Spurgeon, C. H.	englische Baptistenkirche, 19. Jh.
14	464	Theosophische Gesellschaft	Gemisch aus Traditionen, Amerika, 19. Jh.
15	539	Young, B.	Mormonismus, Amerika, 19. Jh.

Feststellung, daß kein Eintrag Aufnahme in die Stichprobe finden konnte, der nicht zuvor in die Enzyklopädie der Religionen aufgenommen worden war. Damit besitzen sie Relevanz für Religion insgesamt (entsprechend der Definition der Herausgeber der Enzyklopädie), auch wenn sie selbst nach der Definition der Aufnahmekriterien in die Untersuchung kein eigenes Religionssystem darstellen.

Die religiösen Systeme in den Einträgen unterschieden sich wesentlich im Umfang der vorhandenen Informationen. Auch wenn ausreichend Informationen vorhanden waren, unterschieden sich die Autoren hinsichtlich des Grades, in dem sie Theologie auf soziale und ökologische Kontexte bezogen. Trotz dieser Probleme lassen sich mehrere vorläufige Schlußfolgerungen ziehen, die für die Haupthypothesen der Evolution von Relevanz sind.

Die weltliche Nützlichkeit der Religionen

Der Nebenprodukt-Hypothese folgend, sind humanpsychologische und soziale Prozesse in außerreligiösen Kontexten eindeutig adaptiv, werden im Religionskontext hingegen in unpassender Weise ausgelöst. Wir bitten Gott um ewiges Leben, nicht aber, daß er uns morgens zur Arbeit bringt. Wir erkennen Gesichter in den Wolken, weil unser Geist auf soziale Interaktion programmiert ist. Der Gang zur Arbeit und die soziale Interaktion haben eindeutig praktischen Nutzen, wohingegen ewiges Leben und das Erkennen von Gesichtern in den Wolken keinen solchen aufweisen. Ungeachtet dessen, ob diese Hypothese nun im Sinne der Theorie der rationalen Wahl oder der Evolutionspsychologie betrachtet wird, bleibt die Erwartung, daß Religionen an sich keinen praktischen Nutzen zeitigen.

Die Stichprobe geht von keiner derartigen Erwartung aus, auch nicht im Hinblick auf die begrenzten vorliegenden Informationen (siehe auch REYNOLDS und TANNER 1995). Die Mehrzahl der Religionen in der Stichprobe konzentriert sich auf praktische Anliegen, besonders die Definition sozialer Gruppen und die Regelung der sozialen Interaktionen innerhalb und zwischen den Gruppen. Ausgangspunkte für neue religiöse Bewegungen sind in der Regel Situationen, in denen ein Teil einer bestehenden (religiösen oder säkularen) sozialen Organisation ungenügend Beachtung findet und sich in praktischen Belangen bei der neuen Bewegung besser aufgehoben fühlt. Diese Dynamik beschreibt den Ursprung von Christentum und Islam sowie jüngerer Religionsbewegungen innerhalb aller großen Religionstraditionen, einschließlich der folgenden Beispiele aus der Stichprobe:

- Innerhalb des Judentums bildete sich *Agudat Yisra'el* Anfang des 20. Jahrhunderts, um „Vertreter der orthodoxen Gemeinschaften aus Deutschland, aus Rußland, Polen und Litauen sowie von Ungarn unter dem Dach einer Organisation zu vereinen“ (ELIADE 1987, S. 150). Das Hauptziel bestand in der Bewahrung und Förderung einer orthodoxen Form von Judentum im Gegensatz zu den stärker säkularisierten Formen. *Agudat Yisra'el* wird als der politische Arm des Orthodoxen Judentums bezeichnet, weil viele seiner Ziele utilitaristisch sind, wie z. B. die wirtschaftliche Unterstützung von Not leidenden Gemeinden.
- Innerhalb des Islam gründete Sayyid Abu Al-a'la MAWDUDI Anfang des 20. Jahrhunderts eine islamistische Erweckungsbewegung, deren Anliegen im Schutz muslimischer Interessen vor den Hindus, dem Säkularnationalismus und der abendländischen Kultur bestand. Diese Bewegung verfolgte explizit das Ziel, das Überleben einer Minderheitengruppe, die

sich der Bedrohung durch konkurrierende soziale Organisationen ausgesetzt sah, zu definieren und zu fördern.

- Innerhalb des Christentums entstand der Mormonismus als eine von zahlreichen neuen Bewegungen im frühen 19. Jahrhundert in Amerika und erwies sich als einzigartig bei der Schaffung in sich geschlossener, kooperativer Gruppen, die wegen ihres Erfolgs verfolgt wurden, bevor sie sich auf ihre spektakulär organisierte Wanderung nach Westen machten. Der Mormonismus wächst weiterhin in einem Maße, das dem von frühem Christentum und Islam gleich kommt.
- Unter den orientalischen Religionen wird der Jainismus von einem kleinen Teil der indischen Bevölkerung vertreten, besteht jedoch bereits mehrere Jahrtausende. Diese beeindruckende Beständigkeit beruht auf dem praktischen Nutzen, nicht auf irgendwelchen mystischen Beziehungen zu Merkmalen, die in außerreligiösen Kontexten über einen so langen Zeitraum bestanden hätte, wie ich weiter unten noch ausführlicher darlegen werde.

Bei diesen Religionssystemen geht es eindeutig um mehr als das Erkennen von Antlitzern in den Wolken oder das Flehen um nicht erreichbare Ziele, wie ewiges Leben. Sie konzentrieren sich auf Ziele, die erreichbar sind, wenn auch nur durch koordiniertes Handeln von Gruppen. Der praktische Nutzen von Religion liegt scheinbar so offen auf der Hand, daß man ihn nicht zu erwähnen brauchte. Weshalb aber wurden dann so zahlreiche Nebenprodukt-Theorien von Religion im Laufe der Jahrzehnte entwickelt, vom „Animismus“ und „Naturismus“ im 19. Jahrhundert bis zu den ökonomischen und evolutionären Nebenprodukt-Theorien in unseren Tagen? Irgendwie ist es den Vertretern dieser Theorie gelungen, den praktischen Nutzen von Religion als „Zufall“ zu interpretieren im Unterschied zu etwas mehr „Fundamentalem“ über Religion, das sich funktional nicht erklären läßt. Diese Auslegung kann gelegentlichen praktischen Nutzen im Zusammenhang mit Religion einordnen, nicht jedoch die Ergebnisse dieser Übersicht auf der Grundlage einer Stichprobe. Nach meiner Einschätzung sind die meisten Religionen der Stichprobe tief im praktischen Wohl von Gruppen verwurzelt. Zum anderen ist es der große Vorteil der Stichprobe, daß ihre Ergebnisse für die gesamte Enzyklopädie zutreffen, der sie entnommen wurden. Wenn meine Bewertung richtig ist, ist das Wesen von Religion nicht ohne das gleichzeitige Anerkenntnis ihrer „weltlichen Nützlichkeit“, wie DURKHEIM es nennt, zu verstehen.

Der praktische Zweck der meisten religiösen Gruppen erklärt, weshalb Ziya GÖKALP, ein politischer Führer, der die Trennung von Kirche und Staat für die türkische Nation unterstützte, in eine Enzyklopädie der Religionen Eingang fand. HEYD (1950, S. 56) sagt: Für GÖKALP war Allah (islamischer Gott) kein personifizierter Gott mehr. Für ihn war „Gott Gesellschaft“. Die Unverletzlichkeit der Persönlichkeit des Menschen erklärt sich aus seiner Funktion als Träger des „kollektiven Bewußtseins“, wobei die Seele der Gesellschaft an die Stelle des religiösen Konzepts des göttlichen Geistes tritt.

Trotz der Verwendung nationalistischer anstelle religiöser Vorstellungen war offensichtlich, daß Kirche und Staat bei der Organisation des Lebens einer Gruppe von Menschen „am selben Strang“ zogen. Ein ähnlicher Prozeß vollzog sich bei der Trennung von Kirche und Staat in der amerikanischen Geschichte (COUSINS 1958). Die Väter der Verfassung, wie Benjamin FRANKLIN und Thomas JEFFERSON, erkannten, daß Religionen gut für die Organisation des sozialen Lebens unter deren eigenen Mitgliedern waren, in bezug auf die Organisation der Gesellschaft im Großen, die zu erreichen sie sich vorgenommen hatten, jedoch Teil des Problems wurden. Die Trennung von Kirche und Staat war daher ein bemerkenswerter Teil des

Sozialaufbaus, und die Vorstellungen von Gott konnten nun frei mit nationalistischen Vorstellungen verbunden werden, um das neue Unternehmen zu schützen. Zusammenfassend sei festgestellt, daß Religion unmittelbar in die praktischen Belange des Lebens eingebunden ist, was nach einer Erklärung im Sinne des Adaptionismus verlangt.

Die proximative/ultimative Unterscheidung und die Jenseitsaspekte von Religion

Wenn Religionen so praktisch veranlagt sind, weshalb sind sie dann so stark auf das Jenseits orientiert? Weshalb tragen sie diese Art von praktischer Argumentation zur Schau, die mit Wissenschaft und rationalem Denken verbunden ist? Weshalb der Glaube an Götter, die empirisch nicht nachvollziehbar sind, teure und zeitaufwendige Rituale und alles Weitere? Das sind die Elemente von Religion, welche Theoretiker zu nichtfunktionalen Erklärungen bringen (Tab. 1, rechte Spalte). Die Evolutionstheorie bietet jedoch eine robuste Alternative für die Unterscheidung zwischen ultimativen und proximativen Ursachen.

Adaptive Merkmale verlangen stets zwei komplementäre Erklärungen: die Umweltkräfte, welche das Merkmal hinsichtlich Fortbestand und Reproduktion begünstigen (ultimativer Grund), und die Mechanismen, welche zum Bestehen des Merkmals in eigentlichen Organismen führen (proximative Ursache). Die meisten Blumen blühen im Frühjahr, weil früher blühende Opfer des Frostes wurden und später blühende keine ausreichende Zeit zur Samenbildung hatten (ultimative Ursache). Die gleichen Blumen blühen im Frühjahr, weil sie über die physiologischen Mechanismen verfügen, die auf die Tageslänge reagieren (proximative Ursache). Erst beide Erklärungen zusammen erläutern das adaptive Merkmal umfassend, wobei eine Erklärung in keinem Fall an die Stelle der anderen treten kann.

Wollte man dieses Beispiel fortführen, ist zu konstatieren, daß die Tageslänge keinen Einfluß auf Überleben und Reproduktion hat. Sie ist lediglich ein Signal, auf das hin die Pflanzen hinsichtlich anderer Umweltkräfte zum günstigsten Zeitpunkt zuverlässig zu blühen beginnen. Generell besteht nicht notwendigerweise eine Beziehung zwischen der proximativen und der zugehörigen ultimativen Erklärung, als jenem, zuverlässig das Merkmal zu erzeugen, das besser als andere Merkmale Überleben und Reproduktion sichert.

Um zur Religion zurückzukehren, kann ein bestimmter Glaube oder ein bestimmter Brauch existieren, weil damit Überleben und Reproduktion verbessert werden – z. B. dadurch, daß die Gruppe besser als andere Gruppen funktioniert – doch dies ist nur die ultimative Erklärung. Es bedarf einer entsprechenden proximativen Erklärung, die nicht unbedingt in Beziehung zur ultimativen Erklärung stehen muß, außer daß sie zuverlässig zum Auftreten des Merkmals führt. Vielleicht unterstützt eine gläubige Person andere, weil sie diesen helfen möchte, oder aber vielleicht auch, weil sie einem vollkommenen Gott dienen will, der ihr Hilfe für andere aufträgt. Hinsichtlich des proximativen Grundes spielt die konkrete psychologische Motivation keine Rolle, solange die Hilfe für andere zuverlässig reproduziert wird.

Die Unterscheidung zwischen proximativer und ultimativer Ursache hat entscheidende Auswirkungen auf das Studium von Religionen, weil sie eine Möglichkeit bietet, die funktionalen mit den jenseitigen Aspekten in Einklang zu bringen. Beim Versuch der Erklärung eines bestimmten Merkmals einer Religion lautet die erste Frage nicht: „Ist sie rational?“ oder „Läßt sie sich empirisch beweisen?“, sondern: „Wozu hält sie die Menschen an?“ Das ist der einzige relevante Goldstandard, soweit proximative Mechanismen betroffen sind. Wenn das Merkmal adaptive Verhaltensweisen motiviert, entspricht es in jeder Hinsicht einer funktio-

nen Erklärung (Tab. 1, linke Spalte), wie verwunderlich (für Nichtgläubige) es in sonstiger Hinsicht auch sei. Liegt keine Motivation adaptiven Verhaltens vor, ist eine nichtfunktionale Erklärung (Tab. 1, rechte Spalte) gefordert.

In *Darwin's Cathedral* habe ich bei einigen Religionen, insbesondere dem Calvinismus, wie er in der Stadt Genua im 16. Jahrhundert entstand, einen Versuch dieser Art von Analyse unternommen. Dabei weise ich nach, daß theologische Überzeugungen (z. B. Erbsünde, Vorherbestimmung oder das Wesen von Glaube und Vergebung) und die sozialen Praktiken (z. B. Regularien für Entscheidungsfindung, Disziplin und Exkommunikation) zusammen mit expliziten Verhaltensvorschriften ein eindrucksvolles, sich selbst stärkendes System für die Organisation kollektiven Verhaltens bilden. Dieses System ist notwendiger Weise komplex, da adaptives Verhalten kontextabhängig ist. So kann adaptives Vergabungsverhalten sich nicht einfach in einer so simplen Regel ausdrücken wie: „Halte die andere Wange hin.“ Für verschiedene Situationen und verschiedene Kategorien von Menschen bedarf es unterschiedlicher Regeln für Vergebung, die das Religionssystem in geeigneter Weise spezifizieren muß. Diese Vorschriften mögen widersprüchlich und hypokritisch erscheinen (z. B.: Wie können Christen intolerant gegenüber bestimmten Verhaltensweisen sein, wenn sie doch predigen, daß man auch die andere Wange hinhalten solle?), bis ihre Kontextspezifik erkannt wird. Vergleichende Untersuchungen und Längsschnittstudien von Religionen sind besonders hilfreich für die Aufdeckung des adaptiven Charakters dieser proximativen Mechanismen. So scheinen die frühen christlichen Gemeinden ihre heiligen Überlieferungen offenbar in Antwort auf die speziellen sozialen Bedingungen geändert zu haben (PAGELS 1995, 2003). Auf diese Weise läßt sich der Jenseitsaspekt von Religion weitestgehend im Sinne der proximativen Begründung erklären, statt als Form mangelnden adaptiven Verhaltens. Ich verwende hier bewußt die Einschränkung „weitestgehend“, denn ich behaupte nicht, daß unbedingt jede Nuance von Religion adaptiv sei. Evolution ist ein verworrener und multifaktorieller Prozeß für Religion ebenso wie für das sonstige Leben. Mein Argument ist, daß der Jenseitsaspekt von Religion nicht selbst mit Notwendigkeit eine Hinwendung zu nichtfunktionalen Erklärungen beinhaltet (Tab. 1, rechte Spalte). Der Unterschied zwischen ultimativer und proximativer liefert eine sehr robuste alternative Erklärung, wobei die empirische Forschung diese Frage für jedes einzelne Merkmal bestimmter Religionen zu klären hat.

Der Leser kann sich selbst ein Urteil bilden, wie gut mir dies mit meinen ausgewählten Beispielen in *Darwin's Cathedral* gelungen ist. In jedem Fall setzen sie sich der Kritik der vor-eingenommenen Auswahl aus. Die Stichprobe geht dieser Kritik aus dem Wege, leidet jedoch unter anderen Einschränkungen, z. B. den begrenzten Informationen bei einigen Religionen und meiner eigenen begrenzten Fähigkeit zur Auswertung der ungeheuren Menge von Informationen zu sämtlichen 35 Religionen. Dennoch dürften einige Vorbemerkungen den Boden für eine spätere ausführlichere Analyse bereiten helfen.

Der Jenseitsaspekt von Religion ist in der Stichprobe reichlich vertreten. Joseph SMITHS Begegnung mit den Himmelsboten, die am Beginn des Mormonismus stand, ist allgemein bekannt. Vergleichbare Ereignisse sind eine Begegnung mit dem obersten Wesen durch ein Ouidja-Brett für den Caodaismus in Vietnam und eine alte Geheimbruderschaft von Eingeweihten für die Theosophische Gesellschaft. Zahlreiche Religionsführer in der Stichprobe sammelten ihr Gefolge durch ungewöhnliche Frömmigkeit und Abgewandtheit gegenüber irdischen Werten. Die heilige KATHARINA VON SIENA hatte im Alter von sechs Jahren eine Christuserscheinung und legte gegen den Wunsch ihrer Familie den Eid der Keuschheit ab. NAHMAN VON BRATSLAV schloß sich jeweils für lange Zeit in die Dachkammer des elterlichen

Hauses ein, um auf diese Weise die Erfahrung der Gottesnähe zu suchen. Seine Ablehnung irdischen Verlangens ging so weit, daß er nicht einmal eine Anhängerschar suchte, was seinen Ruf als erleuchteter geistiger Führer nur noch verstärkte. Die Asketen der Religionen des Orients verzichteten auf jegliche irdische Habe, und manche fasteten sich zu Tode. Auf weniger extremem Niveau wandten sich viele Religionen in der Stichprobe von weltlich-säkularen Werten ab und reineren religiösen Werten auf der Grundlage von Gott und seinen Geboten oder der Erreichung des Zustandes der Erleuchtung zu. Schließlich hatten zahlreiche Religionsbewegungen Zulauf auf der Grundlage angeblicher Wunder, wie des Herbeirufens von Regen oder Wunderheilung, wofür es (nach heutiger wissenschaftlicher Erkenntnis) keine realen Grundlagen gibt. Kurz gesagt, bestätigt die Stichprobe in hohem Maße, daß der religiöse Glaube wohl eine Motivation zur Nächstenhilfe ist, jedoch auch weit darüber hinaus geht. Die Frage ist, bewirken diese offensichtlich keinem Nützlichkeitsprinzip verhafteten Überzeugungen bei den Anhängern von Religionsgruppen zuverlässig gegenseitige Hilfe und funktionieren sie in sonstiger Hinsicht als adaptive Einheiten?

Meiner Einschätzung nach lautet die Antwort auf diese Frage primär „Ja“ für die Religionen in der Stichprobe und daher für die gesamte Enzyklopädie. Die heilige KATHARINA betrachtete die Liebe zu Gott und die Nächstenliebe als zwei „untrennbare Gebote“ (HILKERT 2001). Ähnlich wird in der Enzyklopädie das Wort „Islam“ wie folgt definiert: „Ein vom Verb *aslama* („sich [an Gott] hingeben“) abgeleitetes Substantiv, bezeichnet die Handlung, mit der eine Person ihre Beziehung zum Göttlichen anerkennt und gleichzeitig die Gemeinschaft aller, die sich unterwerfen. Damit beschreibt es sowohl die singuläre vertikale Beziehung zwischen Mensch und Gott wie die kollektive horizontale Beziehung aller in Glauben und Bekenntnis Vereinten.“ (Nach ELIADE 1987, Bd. 7, S. 119.)

Der Erfolg des Mormonismus in weltlicher Hinsicht ist ebenso bekannt wie sein Jenseitsglaube. In ähnlicher Weise funktioniert die Cao-Dai-Religion als Organisator des irdischen Lebens der Gläubigen. Die Verbreitung von Reliquien der Heiligen spielte offenbar eine wichtige Rolle bei der Christianisierung des Abendlandes (ELIADE 1987, Bd. 4, S. 172). WILLS (2001) schildert ausführlich, daß die Stadt Venedig eine eigene Religion mit dem heiligen Markus besaß, die mit großem Erfolg das irdische Leben organisierte – oft im Gegensatz zur katholischen Kirche in Rom. Der Buddhismus wird häufig als die Suche des Einzelnen nach Erleuchtung dargestellt, dennoch war bei den meisten Spielarten des Buddhismus in der Stichprobe eine intensive Hinwendung zur Organisation der Gesellschaft durch den Schutz von Königen und anderen weltlichen Herrschern festzustellen. Im afrikanischen M’Bona-Kult werden Schreine so errichtet, daß sie mit der Zeit verfallen. Die Anhänger des Kultes müssen die Schreine regelmäßig neu errichten, jedoch erst, nachdem sie ihre weltlichen Zwistigkeiten beigelegt haben. Bot sich ihnen die Möglichkeit, Schreine aus dauerhafterem Material zu errichten, wurde dies abgelehnt (SCHOFFELEERS 1992, S. 75).

Der Pelagianismus bietet ein ausgezeichnetes Beispiel für den Wettbewerb zwischen alternativen religiösen Glaubenssystemen. PELAGIUS war ein christlicher Mönch, der bei grundlegenden Religionslehrsätzen mit dem heiligen AUGUSTINUS nicht übereinstimmte. Während AUGUSTINUS davon ausging, daß die Menschheit von Grund auf sündhaft sei und Gottes Erbarmen für ihre Errettung durch die Konvertierung zum Christentum bedurfte, war PELAGIUS überzeugt, daß die Seelen aller Menschen von Gott geschaffen waren und selbst die Heiden durch Akte moralischen Handelns in den Himmel kommen konnten. Beide Doktrinen motivierten auf Nächste orientierte Verhaltensweisen, waren jedoch miteinander nicht vereinbar. Der Pelagianismus wurde auf dem Konzil von Ephesus im Jahre 431 verurteilt.

In einer Auseinandersetzung wie dieser muß ein Streiter selbst bei gegebener Gleichheit beider den Sieg davon tragen. Andererseits können sie durch Spaltung in getrennte Religionen, die unterschiedliche sozioökologische „Nischen“ besetzen, koexistieren. Der Pelagianismus in seiner ursprünglichen Form existiert zwar nicht mehr, seine Elemente traten in der Geschichte des Christentums jedoch immer wieder zutage, z. B. in der Lehre der Quäker vom inneren Licht, die im Gegensatz zum Glaubenssatz von der Erbsünde steht (INGLE 1994). Die Religionsgelehrte Elaine PAGELS (1995, 2003) hat ein umfangreiches Schrifttum zum Wettbewerb zwischen alternativen Varianten des Christentums vorgelegt, die zur Anhäufung von Formen führen, die bei der Schaffung und Bewahrung starker Gemeinschaften außerordentliche Ergebnisse hervorbringen. Sie stellt sich in ihrer Argumentation nicht auf den Boden der Evolution, unterstützt jedoch nachhaltig die Unterscheidung zwischen proximativ und ultimativ als einer Möglichkeit, die jenseitigen und die praktischen Dimensionen von Religion miteinander in Einklang zu bringen.

In diesem Abschnitt habe ich versucht, zwei wichtige Punkte festzustellen. *Erstens* ermöglicht der Unterschied zwischen proximativ und ultimativ theoretisch, die auf das Jenseits gerichteten und die praktischen Dimensionen von Religion miteinander in Einklang zu bringen. Die Schlüsselfrage ist: *Zu welchen Handlungen bewegen die jenseitigen Elemente von Religion die Menschen?* *Zweitens* habe ich auf der Grundlage der Untersuchung die empirische Behauptung aufgestellt, daß die jenseitigen und die praktischen Dimensionen von Religion in Wirklichkeit eng miteinander verbunden sind. Wenn ich damit Recht habe, bedarf es der Haupthypothesen in der rechten Spalte von Tabelle 1 nicht zur Erklärung der auf das Jenseits gerichteten Seite von Religion.

Es gibt jedoch noch einen dritten wichtigen Punkt, den ich bisher nicht genannt habe: Weshalb können die proximativen Mechanismen nicht von direkterer Art sein? Weshalb helfen wir dem Nächsten nicht einfach, ohne daß wir an einen vollkommenen Gott glauben, der Nächstenliebe zum Gebot macht? Dies ist eine grundlegende Frage, doch sie erfordert einen Vergleich von Religionssystemen mit Nichtreligionssystemen, bei denen die proximativen Mechanismen *in der Tat* direkter sind. Dies würde den Rahmen dieser Darlegung sprengen, wurde aber von mir und anderen an anderem Ort besprochen (z. B. WILSON 2002, Kap. 7, ALCORTA und SOSIS 2005).

Gruppennutzen, Individualnutzen oder Kulturparasiten?

Bisher habe ich mich bemüht darzulegen, daß die meisten Religionen in der Stichprobe ihren Ursprung in praktischen Angelegenheiten nahmen (Tab. 1, linke Spalte) und ihre jenseitigen Aspekte weitestgehend mit Hilfe der Unterscheidung zwischen proximativ und ultimativ erklärbar sind. Jetzt ist es Zeit für eine ausführlichere Besprechung der drei adaptionistischen Hypothesen.

Wie ich bereits betonte, ist Religion in Praxis und besonders in Idealform auf Gruppen und Nächste orientiert. Der durch Religion hervorgebrachte Nutzen dient den Angehörigen der Gruppe und ist in diesem Sinne „Eigensucht“, wobei sich Eigensucht in der Regel dabei nicht dahingehend äußert, daß einige Mitglieder der Gruppe Vorteile auf Kosten anderer Mitglieder derselben Gruppe erringen. Im Gegenteil, der Nutzen von Religion ist generell ein öffentliches Gut, zu dessen Entstehung Zeit, Energie und Einsatzbereitschaft des Einzelnen erforderlich sind. Wenn wir uns auf die *Fitness-Unterschiede* konzentrieren, die erforderlich sind,

damit die natürliche Auslese angreifen kann, stellen wir die gleichen Probleme bei Religionen wie für das öffentliche Wohl allgemein fest. Ihre Erzeugung verringert die Fitness im Verhältnis zu jenen innerhalb derselben Gruppe, die den Nutzen ohne Kosten haben – ein negativer Fitness-Unterschied. Die positiven Eignungsunterschiede, welche Schaffung von Gemeinwohl begünstigen, bestehen vorwiegend zwischen Gruppen. Stark vereinfacht: Gruppen, welche gemeinsam handeln, erzielen bessere Ergebnisse als Gruppen, die dies nicht tun. Dieser Vorteil wiegt schwerer als die Nachteile, ein Lieferer öffentlichen Guts innerhalb von Gruppen zu sein. Die meisten Elemente von Religion dienen der Schaffung von Gemeinwohl und der Limitierung der Nachteile der Schaffung von Gemeinwohl innerhalb von Gruppen. Funktionieren sie nicht, wird das eigennützige Verhalten der Gläubigen als Verfälschung von Religion ausgelegt, nicht aber als Aspekt der „wahren“ Religion. Aus diesem Grunde muß die Auslese zwischen Gruppen bei der Untersuchung von Religionen einen zentralen Platz einnehmen, wie ich das in *Darwin's Cathedral* vertrete.

Dieses Argument wird durch die Stichprobe nachhaltig gestützt. Die meisten Religionen dort widmen sich der Schaffung von Gemeinwohl in gleicher Weise wie die ausgewählten Beispiele in *Darwin's Cathedral*. Neben den, die bereits genannt wurden, hat Richard ALLEN die afrikanische Methodistische Episkopalkirche gegründet, die sich den Bedürfnissen der Afroamerikaner widmen sollte, denen sich die von Weißen beherrschten Kirchen verweigerten. Aus dem gleichen Motiv gründete John MARANKE die Christlich-Apostolische Kirche in Afrika. Frederick MAURICE unterstützte die Bildung des christlichen Sozialismus als religiöse Variante der Sozialistenbewegung in England. Diese Beispiele mögen – jedes für sich betrachtet – vielleicht banal erscheinen, als Teil einer zufälligen Stichprobe gewinnen sie an Bedeutung, indem sie den auf Gruppen und Nächste orientierten Charakter von Religionssystemen im Allgemeinen herausstellen.

Kein soziales System, ob religiös oder säkular, bietet eine vollständige Lösung für das Problem von passivem Schmarotzertum und aktiver Ausbeutung innerhalb von Gruppen, besonders durch deren Führer. In *Darwin's Cathedral* habe ich zwei Hauptwege für den Zerfall von Religionen dargestellt. Der erste Weg besteht darin, daß eine Religion Opfer des eigenen Erfolges wird. Schafft eine Religion durch kollektive Anstrengung Reichtum, benötigen die Mitglieder sich nicht länger gegenseitig und verlassen die Gruppe oder versuchen, die bestehenden Einschränkungen für ihr Verhalten zu lockern. John WESLEY, der Gründer der methodistischen Kirche, war sich dieses Problems vollkommen bewußt: "I do not see how it is possible, in the nature of things, for any revival of religion to continue for long. For religion must necessarily produce both industry and frugality. And these cannot but produce riches. But as riches increase, so will pride, anger, and love of the world in all its branches."² (WESLEY 1976, Bd. 9, S. 529.)

Ein zweiter Weg für den Zerfall von Religionen ist, daß sie in dem Sinne ausbeuterisch werden, daß einige Mitglieder größeren Nutzen als andere für sich beanspruchen. Geschieht dies, sind drei Resultate möglich: Die ausgebeuteten Mitglieder kämpfen um Reformen, sie können gezwungen oder getäuscht werden, um in Ausbeutung zu bleiben, oder sie spalten sich ab und gründen eine eigene Kirche. Diese Möglichkeiten verdeutlichen, daß Religionen *keine* reinen Produkte der Auslese zwischen Gruppen sind. Immer geben sie auch ein Bild des

² „Ich kann nicht erkennen, wie es der Natur der Dinge nach möglich ist, daß eine Neubelebung von Religion über lange Zeit anhält. Denn Religion muß notwendigerweise Fleiß und Genügsamkeit hervorbringen. Und diese können nicht nur zu Reichtum führen. Wenn aber der Reichtum zunimmt, wachsen Stolz, Zorn und Liebe der Welt in allen Bereichen.“

Gleichgewichtes zwischen den Ausleseebenen, auf denen die zerstörerischen Wirkungen von Vorteilen innerhalb der Gruppe vorhanden sind und sich der sozialen Kontrolle zu entziehen drohen. Die religiösen Vorstellungen von „Sündhaftigkeit“, „Weltlichkeit“, „Nachfolge“ und „Eigensinn“ verdeutlichen diese konstant bestehende Gefahr.

Diese Konflikte sind in der zufälligen Stichprobe reichlich vertreten. Ein erheblicher Teil der Religionen in der Stichprobe baut nicht auf einer neuen Anhängerschaft (wie im Falle der afrikanischen und afroamerikanischen Kirchen) oder einem neuen sozialen Bedürfnis (wie beim Christlichen Sozialismus), sondern auf der Forderung nach „Läuterung“ von bestehenden Kirchen, die durch weltliche Werte „korrumpiert“ wurden, auf. So rief z. B. Usman DAN FODIO in Nigeria eine islamische Bewegung ins Leben, die – nach Darstellung des Studenten, der das Material bearbeitete – sich „dahingehend unterschied, daß sie jene ablehnte, die über Wissen verfügten, es aber nicht in die Tat umsetzten; jene, die sich den Anschein der Einhaltung der äußerlichen religiösen Pflichten gaben, aber Eigenschaften wie Neid, Heuchelei, Ehrgeiz, Streben nach politischen Ämtern und hohem Stand nicht aufgaben; jene, die für sich das ausschließliche Recht der Führung des gemeinen Volkes in Anspruch nahmen und doch eine unheilige Allianz mit den Sultanen eingingen und auf diese Weise die Unterdrückung der Menschen durch den Sultan begünstigten; jene, die sich allein des Ruhmes und Reichtums wegen am Jihad beteiligten; und jene Gelehrten, die sich falscher Methoden, wie Musik, bedienten, um Menschen zu geistigen Handlungen zu verleiten“. Mit Ausnahme der Musik nennt diese Aufzählung ausschließlich Verhaltensweisen, die auf Eigennutz gerichtet sind und keinen Beitrag zum Wohl der Gruppe leisten. Die neue, „geläuterte“ Religion wies zur Vermeidung dieser Probleme und Umwandlung der Gemeinschaft der Gläubigen in eine in sich geschlossene Gruppe eine strenge Struktur auf. Fragen von Kleidung, Gebet und Riten, die außerhalb des Kontextes keine erkennbare Funktion besitzen, jedoch bei der im vorigen Abschnitt besprochenen Unterscheidung zwischen proximativ und ultimativ Sinn erhalten, wurde große Aufmerksamkeit zuteil.

Auch die berühmte Abgewandtheit des Taoismus gegenüber irdischen Dingen bekommt als Mittel zur Verhinderung politischer Korruption einen Sinn. „Chen-Jen“ ist im *Chuang-tzu* die Bezeichnung für Personen, die „nicht jeglichen Kontakt mit der menschlichen Gesellschaft und Politik ablehnen, doch wenn sie ‚hineingezogen‘ werden sollten, würden sie sich nicht ‚hineingezogen fühlen‘“. In dieser Phase der Geschichte Chinas „lag das Feudalsystem der Chou-Dynastie in den letzten Zügen, und die Beziehungen zwischen den Staaten waren von List und Gewalt geprägt“. Im *Chuang-tzu*, Kapitel 21 wurde SUN SHUAO, ein Vorbild von „Chen-Jen“, „dreimal als Ministerpräsident benannt, ohne dies als besondere Ehre zu betrachten und dreimal wieder abgesetzt, ohne besonders verbittert zu erscheinen. ‚Weshalb sollte gerade ich besser als alle anderen sein? Als [die Ernennung] kam, konnte ich sie nicht ablehnen; als sie wieder ging, konnte ich sie nicht halten. Weder das Bekommen noch das Verlieren hatte etwas mit meiner Person zu tun.““ (Sinngemäß nach ELIADE 1987, Bd. 3, S. 230–231). Wen Besseren könnte man in einer Welt voller Interessensansprüche zum Führer wählen als den, der nachgewiesen hat, keine solchen Interessen zu besitzen (IRONS 2001, SOSSIS 2004)?

In *Darwin's Cathedral* habe ich betont, daß Anpassung das *Produkt* der natürlichen Auslese ist, im *Prozeß* der natürlichen Auslese auf jeden Erfolg aber zahlreiche Mißerfolge kommen. Religiöse Systeme beinhalten ein gewisses Maß an Vorbedacht, sind jedoch in vieler Hinsicht ungeplante Sozialexperimente, von denen nur einige zum Erfolg führen. Ein guter „Fossilbericht“ über Religionen sollte daher neben den Erfolgen in jedem Fall auch die Miß-

erfolge einschließen. Mehrere Religionen in der zufälligen Stichprobe müssen in dem Sinne als Mißerfolg gelten, da sie weder eine große Anhängerschaft erreichten noch ihre erklärten Ziele, wie z. B. der von mir bereits beschriebene Pelagianismus. Die Bemühungen von Frederick MAURICE zur Errichtung einer Art von christlichem Sozialismus waren gut gemeint – niemand könnte an seiner kommunitären Absicht je zweifeln – gelangten jedoch zu keinem nennenswerten Ergebnis und bleiben damit eine Fußnote der Religionsgeschichte. Die Theosophische Gesellschaft baute auf einer Mischung aus Wissenschaft und Okkultismus auf, die im 19. Jahrhundert einen Sinn ergab, heute jedoch nur noch wenige Menschen anzieht. Dennoch brachte sie auf eigene Weise „eine neue Sinnorientierung, Sendung und Dienst am Nächsten“ (CAMPBELL 1993, S. 8). Damit verdeutlichen selbst die gescheiterten Versuche noch die grundlegende Ausrichtung von Religion auf Gruppe und Nächste.

Da natürliche Auslese stets auf Fitness-Differenzen beruht, können sich Anpassungen auf Gruppenebene nur herausbilden, wenn einige Gruppen stärker zum Genpool bzw. Kulturpool beitragen als andere. Konkurrenz zwischen Gruppen kann als direkter Konflikt ausgetragen werden, kann aber auch weniger physische Formen, wie Unterschiede in der wirtschaftlichen Leistungskraft, annehmen. DARWIN wies vorsorglich darauf hin, daß sich natürliche Auslese auf der Ebene des Individuums nicht immer als Kampf mit Klauen und Zähnen vollzieht. Trockenheit tolerierende Pflanzen sind trockenheitssensiblen Pflanzen in der Wüste überlegen, und doch treten beide nicht direkt in Interaktion. Gleiches gilt für die natürliche Auslese auf Gruppenebene. Erfreulich ist die Erkenntnis, daß sich *die meisten* Religionen in der Stichprobe und damit in der Enzyklopädie *nicht* durch Gewaltkonflikte zwischen Gruppen ausbreiteten. Stattdessen erfolgte die Konkurrenz zwischen Gruppen in erster Linie über Unterschiede bei der Gewinnung und Bindung von Anhängern sowie Vorgängen von Geburt und Tod entsprechend der Fähigkeit der Gruppe, als adaptive Einheit zu funktionieren. Es kann nicht in Abrede gestellt werden, daß Gruppenauslese in manchen Fällen in Form gewaltsamer Konflikte erfolgt, doch die verhältnismäßig geringe Anzahl dieser Fälle in der Stichprobe fügt eine neue Sichtweise hinzu und läßt die Frage offen, ob Religion an sich das Potential für Gewaltkonflikte im Vergleich zu nicht religiösen Sozialorganisationen von Menschen erhöht oder verringert.

Unsere Spezies baut wie keine andere auf kumuliertem, sozial weitergegebenem Wissen auf. Die für das Entstehen und die Verbreitung neuer Merkmale verantwortlichen psychologischen und kulturellen Prozesse sind in einem weiten Sinn evolutionär, unterscheiden sich von der genetischen Evolution jedoch in vielen Detailspekten. Selbst bei rein genetischer Evolution kommt es zur Ausbildung unterschiedlicher Merkmale bei autosomalen (von beiden Eltern vererbten) oder zytoplasmatischen (nur von der Mutter vererbten) Genen oder Genen auf dem y-Chromosom (nur vom Vater vererbt). Die kulturelle Evolution verfügt über ein noch breiteres Arsenal von Möglichkeiten, mit denen bestimmte Merkmale über beide Eltern, ein Elternteil, erwachsene Nicht-Eltern (Lehrer), Gleichaltrige usw. weiter gegeben werden können. Es wird davon ausgegangen, daß jede Form der Weitergabe dabei eine andere Gruppe von Merkmalen bevorzugt, wie dies auch von rein genetischen Formen der Weitergabe bekannt ist. Aus diesen und anderen Gründen wird nicht erwartet, daß kulturelle Evolution die gleichen Ergebnisse hervorbringt wie die genetische (RICHERSON und BOYD 2004).

DAWKINS (1976) hat den Begriff „Mem“ als kulturelles Analogon zu „Gen“ geprägt. In der Weise, wie er und andere das Konzept entwickelten, können Meme als autonome Lebensformen gelten, die sich ausschließlich zum Zwecke der eigenen Verewigung entwickelt haben und am Nutzen des Humanwirtes ebenso wenig interessiert sind wie ein Bandwurm oder das

AIDS-Virus. Gelegentlich wird Religion zur Unterstützung dieses Konzepts herangezogen (z. B. BLACKMORE 1999), meist mit der Annahme, daß Religion so verwirrend sei, daß sie sich von einem anderen Standpunkt aus nicht erklären ließe, und daß es den Menschen ohne sie besser ginge, gerade so, als ließe sich Schnupfen als Krankheit ausrotten.

In der zufälligen Stichprobe findet sich praktisch kein Anhaltspunkt für die Hypothese des Kulturparasitismus. Wie ich bereits ausführte, ist das Anliegen der meisten Religionen in der Stichprobe die Förderung des Wohles der Mitglieder. Ihre Jenseitsorientierung läßt sich mit der Unterscheidung proximativ/ultimativ unschwer erklären. Zudem läßt sich das Grundkonzept der Meme als eigenständige Handlungsträger mit theoretischen Begründungen widerlegen (RICHERSON und BOYD 2004).

Ein überzeugenderes Konzept der kulturellen Evolution wurde von RICHERSON und BOYD (2004) vorgelegt. Nicht nur entwickelten sich die durch die genetische Evolution hervorgebrachten Parameter der kulturellen Evolution zur Förderung der biologischen Tüchtigkeit insgesamt, sie entwickelten sich auch zur Steigerung der Wirksamkeit der Auslese zwischen den Gruppen im Vergleich zur gruppeninternen Auslese. Dank kultureller Prozesse sind Gruppen von Menschen in der Lage, gut zu funktionieren. Zu den in der theoretischen Literatur besprochenen potentiellen Beispielen zählen Regeln der sozialen Weitergabe, die zu stärkerer Variation zwischen Gruppen, einfachen Mechanismen zum Aufdecken und Strafen von Normverletzungen (z. B. Geschwätz) usw. führen.

Dieses Konzept von kultureller Evolution ist theoretisch weitaus plausibler und mit der Stichprobe besser zu vereinbaren als das Parasitenkonzept. Guten Religionen gelingt es auf beeindruckende Weise, Verhalten zu organisieren und sich auf der Zeitachse zu replizieren. Die Mechanismen, welche die Codierung dieser gesamten nichtgenetischen Informationen, ihre Expression unter geeigneten Bedingungen und präzise Weitergabe ermöglichen, müssen in der Tat hoch entwickelt sein. Theoretische Modelle von kultureller Evolution reflektieren diesen hohen Grad der Entwicklung bisher nicht und können von der Untersuchung von Religion in gleichem Maße profitieren wie die Untersuchung von Religion von den theoretischen Modellen.

Jainismus: Eine Herausforderung und ihre Lösung

Von allen Religionen der Stichprobe war der Jainismus anfänglich die größte Herausforderung im Kontext der Anpassungshypothese auf Gruppenebene. So alt wie der Buddhismus, ist der Jainismus für seine asketischen Werte bekannt. Die Anhänger des Jainismus tragen Masken zur Filterung der Atemluft, reinigen mit einem Besen den vor ihnen liegenden Weg und beachten Dutzende von Vorschriften bei der Nahrungsaufnahme, um auch nicht das kleinste Lebewesen zu töten. Sie haben nirgends eine Heimat, Angehörige einiger Sekten entsagen jeglicher Kleidung. Manchen gelingt selbst die ultimative asketische Tat, sich zu Tode zu fasten. In welchem Maße mögen derartige Überzeugungen und Praktiken zur weltlichen Nützlichkeit des Individuums oder der Gruppe beitragen? Bemerkenswerterweise leisten sie einen solchen! Die folgenden Ausführungen beruhen auf einer ausführlichen Ethnographie einer modernen Jain-Gemeinde, deren Titel für sich spricht: *Riches and Renunciation: Religion, Economy and Society among the Jains* (LAIDLAW 1995).

Asketisch entsagende Mönche bilden einen winzigen Teil der Jain-Religion, zu deren Laienmitgliedern einige der reichsten Kaufleute Indiens zählen. Wie bei den Jain-Anhängern

allgemein üblich, sind diese Familien im allgemeinen aktive und überzeugte Anhänger der Religion. Dies gilt besonders für Zeiten, in denen Mönche unter ihnen weilen, doch auch zu anderer Zeit orientieren sich die gesellschaftlich Höherstehenden der Gemeinschaft und das tägliche Leben streng an den religiösen Werten des Jainismus. Die täglichen Riten in den örtlichen Tempeln sind gut besucht, und die meisten öffentlichen Feste sind religiöser Natur. Wie die Mönche üben sich auch die Angehörigen der Jain-Familien in der Askese und im regelmäßigen Fasten.

Dies ist jedoch nicht gleichbedeutend damit, daß die Laiengemeinschaft der Jainreligion etwa einem Orden der Entsagenden gleiche. Nichts in der strengen Lebensweise der Mönche wäre eine Vorbereitung auf die Feierlichkeit und die Begeisterung, mit der die Zeremonien der Jain-Religion vollzogen werden, die Farbe und Opulenz ihres Gemeinschaftslebens, ihren Reichtum, den offenen und fröhlichen Stolz auf ihren Besitz oder die vielfältigen Weisen der Beziehung zu Askese. Wie die meisten Jain-Gemeinschaften sind die Khartar Gacch und Tapa Gacch Jains von Jaipur wirtschaftlich allgemein gut gestellt. Dem Leben der Religionsgemeinschaft stehen Angehörige der erfolgreichsten Unternehmerfamilien vor – in diesem Fall in der Mehrzahl wohlhabende Kaufleute, die den Smaragdhandel in der Stadt, einen der größten seiner Art in der Welt, beherrschen. Man ginge jedoch zu weit, wollte man sagen, daß jeweils die reichsten der Laienschaft der Jain-Anhänger im Ruf besonderer Religiosität stünden. Aber ein Körnchen Wahrheit steckt sicher darin. Auf jeden Fall steht fest, daß die Jain-Religion für diese Familien ein Medium ist, in dem sie ihre weltlichen Erfolge feiern und die Bewahrung von Familie und örtlicher Gemeinschaft ausdrücken und bekräftigen können. Doch die Lehre der Religion, wie sie von örtlichen Lehrern und Jain-Mönchen selbst verbreitet wird, ist eine Soteriologie – ein Projekt und ein Satz von Vorschriften, wie man sein Leben bis zum Ende leben sollte (LAIDLAW 1995, S. 4).

Der Jainismus war Zeit seines Bestehens eine Religion von Kaufleuten. Die Parallelen zum Judentum, einer weiteren Kaufmannsreligion, sind bemerkenswert. Jain-Anhänger lebten in Diasporagemeinden in ganz Indien und weiteren Regionen, wo sie den Handel aufbauten, ein leistungsfähiges System von Banken und Merkantilkapitalismus entwickelten, Bündnisse mit dem Adel schlossen, Geld durch Vergabe von Kleinkrediten verdienten und von den wütenden unteren Klassen gehaßt wurden. Diese wirtschaftliche Nische erfordert ein hohes Maß an Kooperation und ist entsprechend anfällig für Ausbeutung. LAIDLAW beschreibt den Edelsteinmarkt von Jaipur so: Der Smaragdmarkt von Jaipur ist fest auf den internationalen Handel orientiert und teils über Diasporagemeinden der Jain-Anhänger im Ausland mit überseeischen Märkten verbunden. ... Am Markt blüht der Spekulationshandel mit Steinen, und es besteht ein aufwendiges und aktives Maklersystem. Der Smaragdhandel erfolgt nicht nur in der Weise, daß Exporteure ihre Termine für Großlieferungen geschliffener Steine einhalten können, sondern auch in Erwartung der Preisschwankungen des Marktes, die sich bei derart stark termingebundener Nachfrage ergeben. Die Liquidität des Marktes hängt von einem System inoffizieller Bankgeschäfte ab, an dem alle bedeutenden Edelsteinfirmen beteiligt sind und das mit einer Art des *hundi*, einer mindestens seit Mogulzeiten in Indien üblichen Art der Schuldverschreibung, betrieben wird. Ungesicherte Bargelder, für die ein sehr kurzfristiger Bedarf entsteht, sind nach einer bestimmten fixen Zeit zurückzuzahlen, was in manchen Fällen zu einer Sache von Stunden werden kann. Der Preis, für den ein Unternehmen Gelder sichern kann, hängt in direkter Weise davon ab, welchen Ruf hinsichtlich Reichtum, Aufrichtigkeit und kluger Geschäftsführung es genießt und darüber hinaus von der Kreditwürdigkeit des Unternehmens in den Augen der Öffentlichkeit. ... (LAIDLAW 1995, S. 353–354).

Dieser Ruf basiert zum Teil auf der Stellung des Unternehmers innerhalb der Religionsgemeinschaft der Jain. Der gleiche Glaube, der für Mönche eine bestimmte Verhaltensweise vorschreibt, diktiert einen anderen Code für die Laien, der zwar ebenfalls asketische Züge besitzt, jedoch in voller Übereinstimmung mit weltlichen Werten steht. Junge Frauen lernen durch Fasten, ihr Verlangen zu zügeln, und verbessern damit ihre Aussichten auf Verehelichung. Die Männer wetteifern um das Privileg, Gemeinschaftsaktivitäten zu unterstützen. Je extremer diese Darstellung religiöser Hingabe, um so bekannter werden sie und um so mehr steigern sie das Ansehen der Familie. Die Verbindung zwischen Religion und Geschäft ist so eng, daß auf den Hausaltären Kontobücher und Werkzeuge für die Edelsteinbearbeitung neben Devotionalien zu finden sind.

Die Mönche erfüllen nicht nur eine persönliche Vorbildfunktion und predigen die rechte Form des Glaubens, sie setzen deren tatsächliche Einhaltung durch das Einsammeln von Nahrung auch durch. Der Grundsatz der Tatenlosigkeit schreibt vor, daß Mönche ihre eigene Nahrung nicht zubereiten dürfen, aber auch andere nicht zwingen können, es für sie zu tun. So müssen sie unerwartet in vielen Haushalten auftauchen, wo sie nur kleinste Mengen an Speisen mit sich nehmen, so daß nichts wirklich fehlt. Dazu müssen sie sicher sein, daß die Nahrung hinreichend rein ist, was nicht nur die Art und Weise der Zubereitung der Speisen, sondern auch die Reinheit des Zubereiters selbst betrifft.

Die Reinheit der Speisen hängt in erster Linie von der Reinheit der Person ab, welche die Speisen zubereitet. ... Eine Frau, die es an Frömmigkeit fehlen läßt oder einen lockerem Lebenswandel führt, bringt ihre Familie in moralische Gefahr, u. a. durch die Speisen, welche sie für sie bereitet. Daher achten die Mönche besonders auf die Moral und Religiosität der Frauen in den Haushalten, welche sie besuchen. Fasten sie an den günstigsten Tagen eines jeden Monats? Hören sie Predigten? Werden im Haus und insbesondere von den Frauen die geltenden Gebote für Speisen eingehalten, und wenn, kommen diese jenen nahe, welche die Mönche selbst einhalten? (LAIDLAW 1995, S. 304.)

Diese Dinge sind so wichtig, daß die Mönche den gesamten Haushalt in Augenschein nehmen müssen, ehe sie auch nur die geringste Menge an Speisen, die die Familie für sich zubereitet hat, entgegennehmen. LAIDLAW beschreibt einen typischen Besuch, der den Respekt, ja sogar die Furcht vor den Mönchen verdeutlicht. Werden Mönche bemerkt, die sich dem Haus nähern, gerät die Familie in rege Geschäftigkeit, doch das Verhalten wechselt schlagartig und wird offiziell und von ausgesuchter Höflichkeit, sobald die Mönche das Haus betreten. Sie erweisen *vandan* und bitten sie herein wie hoch verehrte Gäste: „Bitte, treten Sie ein, Maharaj Sahab, kommen Sie herein.“ Und die Mönche sind so barsch und unverbindlich wie ihre Gastgeber lebenswürdig. Meist begeben sie sich stehenden Fußes in die Küche, ohne den Verbeugungen und Grußworten der Familie Beachtung zu schenken. ... Die Frauen antworten auf die gelegentlich scharf und mehrfach gestellte Frage der Mönche, ob eine bestimmte Speise für sie geeignet sei. ... Dabei tun die Mönche ständig mit den gleichen Worte kund: „Genug! Aufhören! Nein, das nehmen wir nicht! Von diesem nichts mehr! Genug!“ Die Familie reagiert darauf mit Beteuerungen über die Reinheit und Güte der Speisen. ... Beim Verlassen des Hauses sprechen die Mönche die Segensworte *dharma labh*. Doch meistens, wenn ich zugegen war, wandten sie sich von ihren Gastgebern ab und waren schon auf dem Weg auf die Straße hinaus, wenn sie diese Worte noch zuriefen (LAIDLAW 1995, S. 309–313).

Es ist ein Zeichen der Ehre für ein Haus, in die tägliche Tour der Mönche aufgenommen zu werden, und damit eines der Schande, dabei übergangen zu werden. Von den Männern wird nicht die gleich strenge Einhaltung der Vorschriften erwartet wie von den Frauen, u. a. wegen

der Belastungen im Beruf, doch bieten sich ihnen eigene Konkurrenzfelder bei zahlreichen Gelegenheiten, um als finanzielle Förderer zu agieren, einschließlich Einführungszeremonien für neue Mönche, die Prunkhochzeiten in nichts nachstehen. Ereignisse dieser Art erfreuen sich einer so breiten Öffentlichkeit, daß kein begütertes Mitglied der Jain-Gemeinde seine Reputation erhalten könnte, wenn es nicht seinen Reichtum mit der Gemeinschaft teilen würde.

Die hohen moralischen Verhaltensnormen innerhalb der Jain-Gemeinschaft werden nicht in jedem Fall auch auf Außenstehende übertragen. Die Praxis der Kreditvergabe „liegt zwischen Vormundschaft und nackter Ausbeutung“ (LAIDLAW 1995, S. 106). Fragwürdige Geschäftspraktiken außerhalb der Jain-Gemeinschaft werden toleriert (LAIDLAW 1995, S. 342). Trotz peinlich genauer Bemühungen, selbst kleinste, dem Auge entgehende Lebewesen nicht zu töten, passen die Anhänger des Jainismus nicht in unser Bild des Pazifismus. In der Mythologie der Jain-Anhänger wird ein König durch einen Mönch zum Jainismus gebracht. Dieser überzeugt ihn, die Pfeile seiner Krieger zu behandeln, so daß diese keine unsichtbaren Luftwesen töten. Daß die Pfeile dazu dienen, Menschen zu töten, bleibt unerwähnt (LAIDLAW 1995, S. 155). Als LAIDLAW einem Jain-Laien diese Frage vorlegte, erhielt er folgende Antwort: Nein, die Jain-Religion verlangt nicht, daß du dich wie ein Feigling verhalten sollst. Jain-Anhänger sind Helden. Die wichtigste Lehre der Religion ist, daß du Pflichten hast. Wenn der Kriegsdienst also zu deinen Pflichten gehört, dann verrichte ihn. Für Mönche gilt dies nicht, für Laien schon (LAIDLAW 1995, S. 155).

Adaptive Religionen müssen ein gewisses Maß an Flexibilität besitzen und für unterschiedliche Zusammenhänge jeweils andere Pflichten vorschreiben. Der Jainismus besitzt diese Flexibilität, ebenso wie die in *Darwin's Cathedral* dargestellten Religionen.

Wenn Jainismus auch für die Laienmitglieder noch adaptiv sein mag, mangelt es ihm aber in biologischer Hinsicht nicht eindeutig an dieser Eigenschaft bei den Mönchen? Bei der Beantwortung dieser Frage ist ein ganzheitlicher Ansatz wichtig. In jeder Kultur gibt es Individuen, die sich der Reproduktion entziehen, gelegentlich aus eigenem Entschluß, insbesondere aber bedingt durch bestehende Gegebenheiten. Damit muß sich die kulturelle Evolution bei Religionen, die eine nicht reproduktive Kaste aufweisen, auseinandersetzen. Wir können voraussagen, daß die Entscheidung zum Mönchssein (eine Entscheidung für das gesamte Leben) in erster Linie von Menschen getroffen wird, denen es an anderen attraktiven Optionen mangelt – und genau das haben wir festgestellt. Nach LAIDLAW gilt, daß „Nicht-Jains für das Mönchsamt wohl willkommen sind ... doch steht der Zugang zu Besitz, Macht und Ansehen der Laiengemeinschaft der Jains nicht so einfach zur Verfügung“ (LAIDLAW 1995, S. 115). Einer Jain-Frau „wurde die Initiation mit Nachdruck nahe gelegt, so daß ihr Mann als ‚Witwer‘ erneut heiraten könnte; und die Frau war glücklich, ihre Flucht aus einer unglücklichen Ehe als triumphalen Rückzug aus ‚dieser Welt des Leidens‘ zu verkünden“ (LAIDLAW 1995, S. 241). Allgemeiner ausgedrückt: Im Jainismus wird vom Eintritt in einen Orden den Männern sehr viel nachdrücklicher abgeraten als Frauen. Die Mitgift unter den Jain-Anhängern ist hoch und wird unter dem Druck der begüterteren Mitglieder der Gemeinschaft immer höher. Mir sind Fälle bekannt, wo junge Frauen aus verarmten Jain-Familien das Mönchssein in einer Situation wählten, in der es sehr schwierig war, einen respektablen Ehemann zu finden. Im Gegensatz dazu ist der Verlust eines Sohnes für eine typische Jain-Familie ein finanzielles, organisatorisches und emotionales Unglück (LAIDLAW 1995, S. 241).

Ein weiterer Umstand ist das Alter. Ältere Männer und Frauen widmen sich gleichermaßen häufig stärker ihrer Religion, wenn sie die Aufgaben von Beruf und Familie ihren erwachsenen Kindern übertragen können. Sie können sich in einem Maße einbringen, daß es

eine Konkurrenz für die Mönche wird. Jedoch werden sie keine Mönche/Nonnen, sondern übernehmen führende Aufgaben in der Laienschaft. Zusammenfassend kann festgestellt werden, die reproduktive Arbeitsteilung ist vom Standpunkt der Evolution nicht schwer zu erklären. Für diese Evolution gibt es im biologischen Bereich zahlreiche Beispiele. Zudem bieten die Kulturen Individuen hinreichend Möglichkeiten, Beiträge zum Wohl der Gesellschaft zu leisten, ohne selbst reproduktiv zu sein.

Für meine ausführliche Darstellung des Jainismus gibt es mehrere Gründe. *Erstens* ist er ein überzeugendes Beispiel für den säkularen Nutzen von Religion, den ich auch für die Stichprobe als Ganzes konstatiert habe. *Zweitens* zeigt er, wie durch die Unterscheidung zwischen proximativ/ultimativ selbst (für Außenstehende) augenscheinlich sonderbare Glaubensüberzeugungen und Praktiken mit der funktionalen Seite von Religion in Einklang gebracht werden können. Besser als LAIDLAW könnte ich es nicht ausdrücken: Wie ist es dann möglich, nach unmöglichen Idealen zu leben? Der Vorteil der Beantwortung dieser Frage für den Jainismus besteht darin, daß das Problem dort so außerordentlich plastisch ist. Die Anforderungen der Jainaskese sind mit hoher Wahrscheinlichkeit die kompromißlosesten unter allen überdauernden historischen Traditionen: die am weitesten unpraktikablen Regeln, nach denen eine große Anzahl unterschiedlicher Familien und Gemeinschaften je zu leben bemüht war. Sie tun es seit mehr als zweitausend Jahren, selbst in bewegten Zeiten von Veränderung, Spaltung und gelegentlich gegenläufiger „Reformen“. Dies lenkt unsere Aufmerksamkeit auf die Tatsache, daß die klaffenden Lücken zwischen Hoffnung und Realität nicht einfach Fehlfunktionen der Sozialorganisation oder Abweichungen von Religionssystemen sind. Die Tatsache, daß die Laienschaft unter den Jain-Anhängern – im zutiefst irdisch-materiellen Sinn – eine der wahrlich erfolgreichsten Gemeinschaften Indiens darstellt, wirft ein bezeichnendes Schlaglicht auf eine Frage, die sich auch im Zusammenhang mit den Mönchen selbst stellen muß (LAIDLAW 1995, S. 7).

Drittens zeigt dieses Beispiel den Grad des möglichen Fortschritts auf der Grundlage sorgfältiger beschreibender Untersuchungen von religiösen Systemen in bezug auf ihre Umwelt. Betrachtet man nur wenige vorhandene Informationen scheint der Jainismus auf den ersten Blick dysfunktional, berücksichtigt man jedoch mehr Informationen wird er offensichtlich funktional. Was genau bewirkt diesen Wandel? Die wichtigsten Fakten sind, daß die Mönche nur einen winzigen Teil der Religion der Jain-Anhänger ausmachen, die Laien unter den Jain-Anhängern in beeindruckender Weise vermögend sind, sie eine bestimmte ökonomische Nische besetzen, ihre Religion unterschiedliche (und stärker funktionale) Verhaltensweisen für die Laien als für die Mönche vorschreibt, Mechanismen der Durchsetzung existieren usw. Die meisten dieser Tatsachen sind so grundlegend, daß sie sich – hat man sie einmal erkannt und in Beziehung gebracht – jedem Zweifel entziehen, auch wenn bei detaillierter Analyse genügend Raum für Widerspruch bleibt. Das ist jene Art von Informationen der „Naturgeschichte“, die es DARWIN erlaubte, seine Theorie der Evolution so überzeugend zu begründen, und die es auch gestattet, Evolutionstheorien der Religion zu entwickeln. Dank LAIDLAWs gründlicher Analyse des Jainismus, der Religion in der Stichprobe, bei der die größten Probleme hinsichtlich der gruppenbasierten Anpassungshypothese zu bestehen schienen, wird diese nun nachhaltig gestützt.

Die Analogie zwischen heutiger Religionsgelehrtheit und naturgeschichtlicher Information zu DARWINs Zeiten kann einen Schritt weiter geführt werden. In beiden Fällen wurden die Informationen durch Einzelpersonen erfaßt, die nicht vom Standpunkt der Evolution ausgingen. LAIDLAW ist Kulturanthropologe, der seine eigene Sichtweise so beschreibt: Das Buch

geht von der Beobachtung aus, daß Menschen Werte schätzen, die in einem nicht auflösbaren Konflikt stehen, und logische Folgerichtigkeit in dem, was wir oberflächlich als Kultur bezeichnen, nicht unbedingt gegeben sein muß. Es erfordert Arbeit, sie zu schaffen, zu reproduzieren und zu erhalten, und es glückt stets nur teilweise. Insoweit es Menschen gelingt, insbesondere kulturelle Traditionen und lokale Gemeinschaften zu managen, um Leben zu gestalten, das ethisch und intellektuell kohärent ist, wird nicht einfach ein fertiges, vollständiges und integriertes Paket ererbt, sondern die Errungenschaft der Kultur erhalten und reproduziert. Den Jainismus kann man so darlegen, daß er wie die geordnete Ausführung eines einzigen Glaubensprogramms erscheint, und wie bei den meisten Kulturtraditionen haben einige der hervorragendsten Vertreter stets genau dies gewollt. Betrachtet man den Jainismus jedoch als eine überdauernde Lebensform, überrascht eine andere Leistung. Er bietet seinen Anhängern offenbar Ideen, Einrichtungen, Beziehungen und Praktiken – zu beschreitende Wege – die einander widerstrebende Werte vereinbar und unmögliche Vorstellungen zwingend werden lassen. Dies ist eine beträchtliche Leistung, die der Aufklärung bedarf (LADLAW 1995, S. 21).

LADLAW verwendet an keiner Stelle das Wort Evolution, doch sein metaphorischer Gebrauch von Ausdrücken wie „überdauernde Lebensform“ und sein praktischer Fokus auf „zu beschreitende Wege“ nähern sich der Evolutionsperspektive. Es gibt gute Gründe für die Anwendung der formalen theoretischen und empirischen Instrumente der Evolutionsbiologie bei der weiteren Erforschung von Religion.

Zusammenfassung der vorläufigen Analyse

Ausgangspunkt für die vorliegende Untersuchung war das Problem der Voreingenommenheit der Auswahl in *Darwin's Cathedral*. Ist die durchschnittliche Religion auf Gruppenebene in gleichem Maß adaptiv wie jene, die ich für die Detailanalyse ausgewählt habe? Die Zufalls-Stichprobenerhebung bietet potentiell eine stichhaltige Antwort auf diese Frage. Es klingt vielleicht naiv, bei einem Thema wie Religion von Durchschnitten zu sprechen. Sind Religionen für eine derart simple Klassifizierung nicht zu unterschiedlich? Religionen sind in der Tat verschieden, im gleichen Sinne wie Organismen unterschiedlich sind, aber beide lassen sich im Sinne der Schlüsselhypothesen in Tabelle 1 beurteilen. Trotz der Vorläufigkeit der Analyse lassen sich mehrere Schlußfolgerungen bereits jetzt ziehen:

- Die meisten Religionen in der Stichprobe verfügen über weltliche Nützlichkeit im Sinne von DURKHEIM.
- Der praktische Nutzen besitzt inhärent Gruppen- und Nächstenorientierung.
- In manchen Fällen ist die praktische Seite von Religion so offensichtlich, daß sie sich nicht mehr von Politik unterscheiden läßt.
- In anderen Fällen ist die praktische Seite durch die auf das Jenseits orientierte Seite von Religion überdeckt, doch lassen sich beide weitestgehend durch die Unterscheidung nach proximativ und ultimativ miteinander in Einklang bringen.
- Evolution ist ein multifaktorieller Prozeß mit zahlreichen einschränkenden Bedingungen für die natürliche Auslese, so daß jede Kernhypothese einen bestimmten Grad an Validität besitzt. Darstellungen von Religion als in erster Linie unfunktional oder von individuellem Eigennutz (im Sinne der Bevorteilung einzelner gegenüber anderen Mitgliedern der-

selben Gruppe) geprägt, können auf der Grundlage unserer Untersuchung zurückgewiesen werden.

- Religionen sind keine autonomen kulturellen Lebensformen, die bei einzelnen Menschen oder Gruppen – häufig zu deren Nachteil – parasitieren.
- Im Gegenteil weisen Religionen nach, daß die Parameter von kultureller Evolution sich selbst entwickelt haben, die Auslese zwischen Gruppen verstärken und die innerhalb von Gruppen einschränken.
- Die Auslese zwischen Gruppen kann in Form direkter Konflikte erfolgen, verläuft in der Regel jedoch anders.

Diese Schlußfolgerungen sind vorläufiger Art, sie beruhen auf dem beschränkten verfügbaren Korpus an Informationen und meiner eigenen begrenzten Fähigkeit zu ihrer Bewertung. Im Idealfall müßte jede Religion in der Stichprobe mit gleicher Intensität hinsichtlich ihrer Umwelt analysiert werden wie der Jainismus in LAIDLAW'S Analyse. Ich fordere andere auf, sich an dieser Aufgabe zu beteiligen. Mit einer gründlich analysierten Stichprobe kann bei allen Religionstheorien die Nagelprobe – neben meiner eigenen Analyse aus der Perspektive der Evolution – von jedem Theorieansatz aus vorgenommen werden.

In Ergänzung einer Übersichtsuntersuchung auf der Grundlage einer zufällig erhobenen Stichprobe zur Vermeidung des Vorwurfes der Voreingenommenheit bei der Auswahl werden weitere solche Untersuchungen erforderlich, die gezieltere Fragestellungen von der Evolutionsperspektive aus angehen. So wäre es zum Beispiel interessant, einen Vergleich der Kulturenreligionen, die die gleiche ökonomische Nische besetzen, wie die Kaufmannskulturen der Jain-Anhänger in Indien und der Juden in Europa, vorzunehmen. In aller Welt und zu jeder Zeit hat es zahlreiche Kaufmannskulturen gegeben, die eine Untersuchung der Konvergenz der kulturellen Evolution ermöglichen (LANDA 1999, WILSON 2001).

Als weiteres Beispiel gehen Menschen aus christlichen Kulturen häufig davon aus, daß der Glaube an ein glorreiches Leben nach dem Tode ein Merkmal, ja sogar eine Hauptfunktion aller Religionen sei – um die Furcht vor dem Tod zu nehmen. Nicht nur daß viele nichtchristliche Religionen ein solches Leben nach dem Tode nicht kennen, es wird auch nicht einmal im Judentum, der Religionstradition, aus der das Christentum hervorging, erwähnt. Eine Folge der Unterscheidung von proximativ und ultimativ besteht darin, daß jeder Glaube und jede Praxis, die zu adaptivem Verhalten führen, als proximativer Mechanismus für eine Sozialorganisation bei Menschen dienen kann. Im Rahmen einer Vergleichsstudie ist zu klären, weshalb der Glaube an ein glorreiches Leben nach dem Tod bei einigen Religionen stärker ausgeprägt ist als bei anderen und weshalb er im Christentum sehr viel stärker im Vordergrund steht als beim Judentum. Auf einer tieferen Ebene der Analyse ergäben sich mit hoher Wahrscheinlichkeit bei verschiedenen Varianten von Christentum und Judentum Unterschiede hinsichtlich des Glaubens an das ewige Leben, die nach historischen, sozialen und environmentalen Faktoren bewertet werden können.

Für ein Studienfeld der Evolution von Religion

Ein Thema von *Darwin's Cathedral* und dieses Beitrages ist, daß Religionen und andere Sozialorganisationen von Menschen sich mit den gleichen theoretischen und empirischen Instrumenten untersuchen lassen, welche Evolutionsbiologen für Untersuchungen des übrigen

Lebens verwenden. Wie ich eingangs am paradigmatischen Beispiel der Guppys dargelegt habe, ist dies ein schwieriges, aber lösbares Unterfangen. Kompliziert ist es, weil Evolution an sich ein komplizierter Prozeß mit einer Vielzahl von Auslesedrücker- und -bedingungen ist, die von Spezies zu Spezies, Merkmal zu Merkmal und Ort zu Ort unterschiedlich sind – selbst über die Entfernung von wenigen Metern, wie im Fall der Guppys. Lösbar, weil die im konkreten Fall wirkenden Drücke und Bedingungen bei entsprechender Anstrengung definierbar sind und sich ein sehr aufschlußreiches „großes Bild“ für das System insgesamt ergeben kann. Eine Aufgabe dieser Art verlangt eine Gemeinschaft von Personen, die für die Bearbeitung gemeinsamer Probleme die gleichen theoretischen und empirischen Instrumentarien anwenden. Zum Abschluß dieses Beitrages möchte ich darlegen, wie sich eine solche Gemeinschaft zum Thema Religion bilden kann.

Idealerweise gehören einer solchen Gemeinschaft Vertreter der Evolutionsbiologie, der traditionellen Religionswissenschaft und Sozialwissenschaftler an, die beim Studium von Religionen bereits nach eigenen theoretischen Sichtweisen und empirischen Methoden arbeiten. Die Grundprinzipien der Evolution und die empirischen Methoden sind rasch erlernbar. Generell werden die aufkeimenden Untersuchungen von humanzentrierten Themen aus der Sichtweise der Evolution zumeist von Personen geführt, die ihre Grundausbildung in anderen Bereichen erfahren haben und zur Evolutionsbiologie im Zuge ihrer sonstigen Tätigkeit kamen. Eine Reihe von größeren Stolpersteinen muß jedoch vermieden werden.

Der erste ist der Glaube, daß die Prüfung adaptionistischer Hypothesen hoffnungslos kompliziert sei und der spekulative Charakter unvermeidlich wäre. Diese Überzeugung ist die Stütze skeptischer Argumente gegenüber der Evolution, als ob sich Evolution mit der Begründung, sie sei zu kompliziert, eher als mit der Behauptung, sie sei falsch, zurückweisen ließe. In jedem Fall ist diese Überzeugung im höchsten Maße irreführend. Funktionale Hypothesen sind wissenschaftlicher Methodik ebenso zugänglich wie nicht funktionale. In keinem Fall sind sie gegenseitig austauschbar, denn die Unterscheidung zwischen proximativ und ultimativ verlangt sowohl mechanistische als auch funktionale Erklärungen für alles, was sich durch natürliche Auslese entwickelt. Produktive Evolutionswissenschaftler stehen nicht händeringend vor den Schwierigkeiten der Überprüfung von Hypothesen, sondern krempeln die Ärmel hoch und machen sich an die Arbeit.

Der zweite Stolperstein betrifft das Denken in den Kategorien Individuum und Gruppe. Ganzheitliche Ansätze dergestalt, daß Gruppen wie Organismen seien, waren unter Biologen und Sozialwissenschaftlern bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts weit verbreitet, bis der Individualismus zur vorherrschenden geistigen Sichtweise wurde. Erst in neuerer Zeit bewegen sich Evolutionsbiologen im Mittelfeld, das die Möglichkeit von Anpassungen an verschiedene Ebenen der biologischen Hierarchie zuläßt und die Instrumente zur Bestimmung der harten Fakten am konkreten Fall bereithält. Es ist einfach, Anpassungen auf Gruppenebene als vorteilhaft für das Individuum darzustellen, denn Gruppen von Individuen, die sich zusammenschließen, sind schließlich als Individuen erfolgreich. Zur Bestimmung der entsprechenden Auswahlbedingung bedarf es der Herausarbeitung der *Fitness-Unterschiede* als Triebkräfte evolutionärer Veränderung. *Win-Win*-Situationen kennen keine derartigen Unterschiede, daher kann Kooperation bei großen Populationen an Frequenz nur zunehmen, wenn Gruppen, die miteinander in *Win-Win*-Interaktion stehen, gegenüber Gruppen, bei denen dies nicht der Fall ist, die Oberhand gewinnen, auch wenn es dabei um öffentliches Wohl ohne Kostenfaktoren geht. In dem Maß, in dem die Bereitstellung öffentlichen Wohls (einschließlich sozialer Kontrolle als öffentlichem Wohl zweiter Ordnung) Zeit, Energie und Risiko durch das Individuum ver-

langt, bilden sich Fitness-Unterschiede innerhalb von Gruppen heraus, welche sich gegen Kooperation stemmen und noch größere Eignungsunterschiede unter Gruppen erfordern, damit es zu einer höheren Frequenz von Kooperation in der größeren Population kommt.

Der Vergleich der Fitness-Differenzen innerhalb von Gruppen und zwischen ihnen ist nicht schwieriger als das Fahrradfahren, wenn man einmal den „Dreh raus hat“. Fehler sind jedoch in der älteren und neueren Literatur noch häufig. Ein gutes Beispiel aus der aktuellen Religionsforschung ist die Idee der Kosten des Sicheinbringens, mit der Religionen den Gruppenzusammenhalt dadurch fördern, daß sie von den Mitgliedern Verhaltensformen verlangen, deren Nachahmung zu teuer ist (IRONS 2001, SOSIS 2004). Dabei handelt es sich in der Tat um ein wichtiges und adaptives Merkmal von Religion, das in der Stichprobe hinreichend vertreten ist, doch liegt die Anpassung auf der Ebene der Gruppe oder des Individuums? Häufig wird es wegen des allgemeinen Erfolges als Anpassung auf der individuellen Ebene dargestellt. Schlüsselt man es jedoch in seine Einzelmerkmale auf und vergleicht die Fitness-Unterschiede innerhalb und zwischen den Gruppen, erkennt man, daß für die Evolution die Auslese auf Gruppenebene erforderlich ist (BOWLES und GINTIS 2003). Es ist für das Gebiet der Erforschung der Evolution von Religion wichtig, einen Konsens darüber zu bilden, wie die Ebenen der Auslese auf der Grundlage von Fitness-Unterschieden innerhalb und zwischen Gruppen zu identifizieren sind.

Es gibt bereits eine nennenswerte Gruppe von Sozialwissenschaftlern, die Religion unter ökonomischen Gesichtspunkten untersuchen. Wirtschaftstheorie und Evolutionstheorie sind einander ähnlich und in mancher Hinsicht übersetzbar, in anderer nicht, wodurch weitere Stolpersteine für Sozialwissenschaftler, die sich auf das Gebiet der Evolutionsforschung von Religion begeben, bestehen, wie ich dies ausführlich in *Darwin's Cathedral* dargelegt habe. Umgeht man diese Stolpersteine, steht ein beeindruckendes Korpus an Literatur und empirischen Methoden zur Anwendung bei Evolutionsuntersuchungen von Religion zur Verfügung. Eine Reihe von Ökonomen, die in der ersten Reihe der Erforschung der Evolution von Humangenetik und Kultur auf mehreren Ebenen stehen, sollten von jenen konsultiert werden, die aktuell Religion von der ökonomischen Perspektive aus untersuchen (wertvolle Einführungen siehe bei HAMMERSTEIN 2003 und HENRICH 2004).

Ironischerweise besteht die geringste Zahl von Stolpersteinen für jene Gelehrten, die ausführliche historische und aktuelle Untersuchungen von Religion von keinem speziellen theoretischen Blickwinkel aus betreiben. Die funktionale Konstitution von Religion spricht für sich, sobald bestimmte Religionssysteme in Beziehung zu ihren Umfeldern untersucht werden. Das ist auch der Grund, weshalb die ausgewählten Beispiele in *Darwin's Cathedral* und die Stichprobe von Religionen in diesem Beitrag vom Blickwinkel der Evolution so interpretierbar sind. Als Naturhistoriker der Religion können diese Wissenschaftler die Grundlage für das empirische Wissen schaffen, von dem aus neue Fragen gestellt werden können, die sich aus der modernen Evolutionstheorie ergeben.

Dank

Mein aufrichtiger Dank gilt den Studenten, die mir bei der Arbeit an dieser Übersicht geholfen haben: D. P. BARNETT, B. M. BARTHOLOMEW, R. I. BRILLIANT, H. CHIU, D. M. DAVIDSON, K. E. DAVIES, L. L. DIANTONIO, R. A. FENDRICK, J. G. FLANNERY, S. T. FOSMIRE, J. J. GOLDENTHAL, J. G. GOLDSHLAGER, M. M. GORDON, O. C. GRANT, L. K. HALL, T. A. HANKE, R. E. HUMPHREY-SEWELL, J. A. ISREAL, B. G. KATZ, R. M. KINDIG, S. und S. LATIF, K. Y. LIN, M. E. MALICK, V. M. MEHTA, S. O. MOHIUDDIN, C. R. MUROLO, N. NAMI, D. OLIVER, S. C. PAVLIDES, J. M. SHERMAN, H. A. VANENGEL, B. L. VITE und P. S. WIRSING. Mein Dank gilt ferner A. B. CLARK, M. CSIKSZENTMIHALYI, W. GREENE, W. IRONS, J. NEUSNER, S. POST, J. SCHLOSS, E. SOBER und R. SOSIS für wertvolle Diskussionen. Die Arbeit wurde finanziell unterstützt durch das *Institute for Research on Unlimited Love*.

Literatur

- ALCORTA, C., and SOSIS, R.: Ritual, emotion, and sacred symbols: The evolution of religion as an adaptive complex. *Human Nature* 16, 2005
- ALEXANDER, R. D.: *The Biology of Moral Systems*. New York: Aldine de Gruyter 1987
- ATLAN, S.: *In Gods We Trust: The Evolutionary Landscape of Religion*. Oxford: University Press 2002
- ATLAN, S., and NORENZAYAN, A.: Religion's evolutionary landscape: Counterintuition, commitment, compassion, communion. *Behav. Brain Sci.* 27, 713–730 (2004)
- AUNGER, R.: *The Electric Meme*. New York: Free Press 2002
- BLACKMORE, S.: *The Meme Machine*. Oxford: University Press 1999
- BOWLES, S., and GINTIS, H.: Origins of human cooperation. In: HAMMERSTEIN, P. (Ed.): *Genetic and Cultural Evolution of Cooperation*; pp. 429–444. Cambridge: MIT Press 2003
- BOYER, P.: *Religion Explained*. New York: Basic Books 2001
- BULBULIA, J.: The cognitive and evolutionary psychology of religion. *Biology and Philosophy* 19, 655–686 (2004)
- CAMPBELL, B. F.: *Ancient Wisdom Revised*. Princeton: Princeton University Press 1993
- COUSINS, N.: In *God We Trust: The Religious Beliefs and Ideas of the American Founding Fathers*. New York: Harper 1958
- CRONK, L.: The use of moralistic statements in social manipulation: A reply to Roy A. Rappaport. *Zygon* 29, 351–355 (1994)
- DAWKINS, R.: *The Selfish Gene*. Oxford: University Press 1976
- DURKHEIM, E.: *The Elementary Forms of Religious Life*. New York: Free Press. (Originally published in 1912) 1995
- ELIADE, M. (Ed.): *The Encyclopedia of Religion*. New York: Macmillan 1987
- ENDLER, J. A.: Multiple-trait coevolution and environmental gradients in guppies. *Trends Ecol. Evol.* 10, 22–29 (1995)
- GUTHRIE, S. E.: *Faces in the Clouds: A New Theory of Religion*. Oxford: University Press 1995
- HAMMERSTEIN, P. (Ed.): *Genetic and Cultural Evolution of Cooperation*. Cambridge: MIT Press 2003
- HENRICH, J.: Cultural group selection, coevolutionary processes, and large-scale cooperation. *J. Econ. Behav. Organiz.* 53, 3–35 (2004)
- HEYD, U.: *Foundations of Turkish Nationalism: The Life and Teachings of Ziya Gokalp*. London: Harvill Press 1950
- HILKERT, M. C.: *Speaking with Authority: Catherine of Siena and the Voices of Women Today*. New York: Paulist Press 2001
- HINDE, R.: *Why Gods Persist: A Scientific Approach to Religion*. New Brunswick, N. J.: Routledge 1999
- INGLE, H. L.: *First among Friends: George Fox and the Creation of Quakerism*. New York: Clarendon 1994
- IRONS, W.: Religion as a hard-to-fake sign of commitment. In: NESSE, R. (Ed.): *Evolution and the Capacity for Commitment*; pp. 292–309. New York: Russell Sage Foundation 2001
- LAIDLAW, J.: *Riches and Renunciation: Religion, Economy and Society among the Jains*. Oxford: University Press 1995
- LANDA, J. T.: The law and bioeconomics of ethnic cooperation and conflict in plural societies of Southeast Asia: A Theory of Chinese merchant success. *J. Bioecon.* 1, 269–284 (1999)
- PAGELS, E.: *The Origin of Satan*. Princeton: Princeton University Press 1995
- PAGELS, E.: *Beyond Belief: The Secret Gospel of Thomas*. New York: Random House 2003
- REYNOLDS, V., and TANNER, R. E.: *The Social Ecology of Religion*. Oxford: University Press 1995
- RICHERSON, P. J., and BOYD, R.: *Not by Genes Alone: How Culture Transformed Human Evolution*. Chicago: University Press 2004
- SCHOEFFELEERS, J. M.: *River of Blood: The Genesis of a Martyr Cult in Southern Malawi*. Madison: University of Wisconsin Press 1992
- SOSIS, R.: The adaptive value of religious ritual. *Amer. Scientist* 92, 166–172 (2004)

- SOSIS, R., and ALCORTA, C.: Signaling, solidarity, and the sacred: The evolution of religious behavior. *Evol. Anthropol.* 12, 264–274 (2003)
- STARK, R.: *Micro foundations of religion: A Revised Theory*. *Sociol. Theory* 17, 264–289 (1999)
- STARK, R., and BAINBRIDGE, W. S.: *The Future of Religion*. Berkeley: University of California Press 1985
- STARK, R., and BAINBRIDGE, W. S.: *A Theory of Religion*. New Brunswick, N. J.: Rutgers University Press 1987
- WESLEY, J.: *Thoughts upon Methodism: The Works of John Wesley*. Vol. 9, edited by R. DAVIES. Nashville: Abington Press 1976
- WILLS, G.: *Venice: Lion City*. New York: Simon and Schuster 2001
- WILSON, D. S.: Religious groups and homogeneous merchant groups as adaptive units: A multilevel evolutionary perspective. *J. Bioecon.* 2, 271–273 (2001)
- WILSON, D. S.: *Darwin's Cathedral: Evolution, Religion, and the Nature of Society*. Chicago: University Press 2002

Prof. Dr. David Sloan WILSON
 Departments of Biology and Anthropology
 Binghamton University
 Binghamton, NY 13902-6000
 USA
 Tel.: +1 607 7774393
 Fax: +1 607 7772477
 E-Mail: dwilson@binghamton.edu

Griechische Anfänge von Wissenschaft

Christian MEIER (München)



Mit dem Titel sei nicht gesagt, daß die Wissenschaft bei den Griechen begann. Er meint vielmehr, daß auch die Griechen Wissenschaft hervorbrachten, auf viele Weisen anknüpfend an Vorläufer im Orient. Freilich zeichneten sie sich bald durch besondere Weisen des Fragens, des Forschens, durch besondere Methoden aus.

Formuliert man das so, ist man schon ein gewisses Wagnis eingegangen. Denn wir wissen schon länger (und lernen immer mehr), daß die Griechen unendlich viel aus dem Orient – Ägypten, Mesopotamien und den angrenzenden alten Kulturen – übernommen haben: Wissen, Kenntnisse, Techniken, Mythen, Vorstellungen – bis ins homerische Epos hinein.¹ Je mehr Texte im Vorderen Orient zu Tage gefördert und/oder entziffert werden, um so stärker muß man damit rechnen, daß Dinge, die man gern als griechisch betrachtet hat, aus dem Osten entlehnt worden sind. Das gilt auch für die Wissenschaft, das Wort in ganz allgemeinem Sinne genommen.

Herkömmlich tendiert man dazu, Unterscheidungen zu treffen zwischen dem, was in Ägypten oder Vorderasien erarbeitet worden ist, und dem, was wir bei den Griechen fassen. So wird gern darauf hingewiesen, man habe im alten Mesopotamien zwar gewußt, daß beim rechtwinkligen Dreieck die Summe der Flächeninhalte der Kathetenquadrate gleich dem Flächeninhalt des Hypotenusenquadrats ist. Doch gebe es keinen Beleg dafür, daß der Satz des PYTHAGORAS dort auch bewiesen worden sei.² Allein, wie will man das ausschließen?

Oder ein anderes Beispiel: Im *Corpus Hippocraticum* finden wir lange Reihen sehr detaillierter Krankheitsberichte, in denen von Tag zu Tag alle wichtigen Veränderungen aufgeschrieben sind, unter Umständen bis zum 120. Tag seit Ausbruch der Krankheit. Entsprechungen dafür in Ägypten kannte man nicht – bis zur Auffindung des Papyrus Edwin Smith.³ Dort sind die Berichte zwar viel kürzer und summarischer; aber wer sagt uns, daß man nicht ähnliche wie bei den Griechen auch in Ägypten noch finden wird oder, wenn man sie nicht findet, daß es sie nicht gegeben habe? Immerhin hat man sich in Ägypten und Mesopotamien sehr gut auf die Medizin verstanden. Wohl ist die Hippokratische Medizin völlig unabhängig von Religion und Magie. Im Unterschied übrigens zu andern medizinischen Schulen der Griechen. Ursachen der Krankheit wie Heilmittel sind für HIPPOKRATES und seine Schüler durchweg natürlicher Art.⁴ Nach Beschwörungen, Exorzismen und ähnlichen Verfahren sucht man bei ihnen vergebens. Darin unterscheiden sie sich zumindest von den meisten der bisher bekannten Quellen aus dem Vorderen Orient. Aber diese Vorstellungen beherrschen auch dort nicht durchweg das Feld. Die Diagnosen, Anweisungen und Voraussagen, die der Arzt ARAD-NANAÏ dem Assyrerkönig ASARHADDON im 7. Jahrhundert übermittelt hat, sind zum Beispiel ganz frei davon.⁵

Kurz, man tut gut daran, vorsichtig zu sein mit der Feststellung spezifisch griechischer Leistungen zur Zeit der Anfänge griechischer Wissenschaft, also für das 6. Jahrhundert v. Chr.

Gleichwohl sollte man auch für das 6. Jahrhundert das Mögliche versuchen. Das ist heutzutage nicht einfach. Denn unabhängig von der angedeuteten Quellenlage waltet obendrein eine Tendenz zur Einebnung der Unterschiede zwischen den Kulturen; es ist eine Art von *political correctness*. Speziell die Griechen müssen büßen für manche Übertreibungen ihrer Be-

1 Dazu zusammenfassend zuletzt BURKERT 2003.

2 PICHOT 1995, S. 80ff.

3 BREASTED 1930; PICHOT 1995, S. 232ff.; LLOYD 1979, S. 153.

4 PICHOT 1995, S. 497ff.; LLOYD 1979, S. 146ff.

5 PICHOT 1995, S. 131ff.

Zusammenfassung

Die Anfänge griechischer Wissenschaft sind sehr schwer zu bestimmen angesichts der Tatsache, daß die Griechen unendlich viel Wissen und Wissenschaft vom Orient übernahmen. Wenn man gleichwohl bestimmte Ansätze als spezifisch griechisch ansehen will, so sind es am ehesten solche, zu denen erst die Polis, anders gesagt: die Freiheit der Griechen, Anlaß gab. Daher wird versucht, bestimmte Eigenheiten der Polisbildung herauszuarbeiten, Probleme, welche sich Ägyptern, Babyloniern und Phöniziern nicht gestellt haben. Daran anknüpfend geht es um die Fragen, auf die griechisches Denken und griechische Wissenschaft in deren Anfängen Antworten zu geben versucht haben.

Abstract

The beginnings of Greek science are difficult to ascertain in view of the fact that the Greek received immense bodies of knowledge and science from the orient. And yet, anyone inclined to regard certain approaches as being typically Greek, would certainly tend to identify those which were brought about under the impetus of *polis*, in other words: the freedom of the Greeks. So attempts are made to ascribe certain features to the formation of *polis*, issues the Egyptians, Babylonians or Phoenicians had not been faced with. Based on this, some questions are to be pointed out to which Greek thought and Greek science, at their beginnings, tried to find answers.

deutung in vergangenen Jahrhunderten. Und doch bleibt festzustellen, daß vieles bei ihnen begonnen hat. Zu fragen ist also, ob das auch in der Wissenschaft der Fall war.

Es leuchtet ohne weiteres ein, daß hohe Kulturen wie die ägyptische und die mesopotamische in mehr als zwei Jahrtausenden sehr viel Wissen und Können akkumuliert haben. Und es versteht sich nicht weniger von selbst, daß sie ihre technischen Glanzleistungen – z. B. Bewässerungsanlagen oder den Bau der Pyramiden – gar nicht hätten vollbringen können, wenn sie nicht mit und an diesem Wissen gearbeitet hätten. Sie haben die Himmelskörper beobachtet, haben deren Lauf eingehend studiert und über viele Jahrhunderte hin Daten zusammengetragen, aufgrund deren sie etwa Sonnenfinsternisse voraussagen konnten. Sie haben genaue Kalender geführt, brauchten mathematische Kenntnisse, schon um Land zu vermessen, um nach Überschwemmungen die Grenzen wiederherstellen zu können. Und sicher noch manches mehr. Vielerlei Wissen konnten die Griechen nur von ihnen übernehmen (denn so schnell und so systematisch ließ es sich gar nicht sammeln), und so werden sie auch einige Methoden des Umgangs damit, in einem ganz allgemeinen Sinne des Wortes also: der Wissenschaft, vom Orient gelernt haben. Trotzdem mag man sich fragen, ob hier wirklich nur Wissens- und Wissenschaftstransfer stattfand – und nicht vielleicht neue Ansätze der Griechen am Werk waren, neue, eigene Fragen.

Vielleicht haben sich in Ägypten, Mesopotamien und bei den Phöniziern auch manche Fragen nicht gestellt, manche Ansätze nicht ergeben, sind manche Positionen des Denkens von ihnen gar nicht einzunehmen gewesen (wie umgekehrt bei den Griechen zwar eine hohe Blüte der verschiedensten Wissenschaften zu beobachten ist, aber keine irgend nennenswerte Rechtswissenschaft aufkam, welche vielmehr erst die Römer entwickelten, ein Volk, das nicht gerade für wissenschaftliche Glanzleistungen bekannt ist, aber eben diese Wissenschaft brauchte, zu entwickeln vermochte [und sich dabei manch Griechisches zunutze machte]).

Ich möchte im folgenden nach einigen Problemen fragen, die die Griechen des 6. Jahrhunderts aufgrund der Besonderheit ihrer Kulturbildung zum Denken, und damit doch wohl zu ersten Ansätzen einer eigenen Wissenschaft herausforderten. Sie scheinen mir wesentlich für die griechischen Anfänge von Wissenschaft zu sein, das jedenfalls sei meine Hypothese. Gewiß, die Griechen haben die Schätze des Orients bewundert, sie waren aufgeschlossen für Fragen, welche Menschen immer bewegen, also auch für die Antworten darauf, die sich ihnen dort boten. Doch möchte ich annehmen, daß in so früher Zeit Denken und erste wissenschaftliche Ansätze wesentlich auch von dem Nutzen bestimmt sind, den man sich davon verspricht, davon also, daß man sie *braucht* – angesichts der besonderen Probleme, denen man konfrontiert ist. Ich muß daher auf die spezielle Problematik griechischer Polisbildung eingehen.⁶

Daß die Entstehung griechischer Wissenschaft mit der Polis, speziell der Demokratie zu tun hat, ist in letzter Zeit verschiedentlich behauptet worden. Geoffrey LLOYD hat es zum Beispiel 1979 getan, André PICHOT 1991. Beide beziehen sich auf Jean Pierre VERNANTS 1962 erschienenen kleines Buch, das in der deutschen Übersetzung von 1982 den Titel *Die Entstehung des griechischen Denkens* trägt. Der Haken an diesem – durchaus bedeutenden – Buch ist nur, daß es, zumindest auf einige Strecken, mit der Chronologie auf Kriegsfuß steht. Das Denken wird zu sehr zum Ergebnis von Prozessen und Eigenart gemacht, an deren Entstehung es großen Anteil hatte. Es war nicht die Demokratie, sondern zunächst einmal die Problema-

tik, der die Griechen lange vor der Demokratie konfrontiert waren, was sie zu ihrem frühen Politischen Denken und zu Frühformen von Philosophie und Wissenschaft kommen ließ, von denen aus sie dann auch zur Demokratie gelangten.

Bei der Entstehung der griechischen Kultur haben wir es in weitaus höherem Maße als normalerweise angenommen mit einem höchst ungewöhnlichen Vorgang zu tun. In allen anderen Kulturen, von denen wir wissen, im Vorderen Orient wie in Indien, China, Mittelamerika, hat die Monarchie eine stark prägende Rolle gespielt. Sie sind aus dem Streben nach Herrschaft und von Herrschaft aus aufgebaut worden, in aller Regel mit kräftigen religiösen Einschlägen. In andern Fällen, so bei Phöniziern und Römern, konnten mächtige, disziplinierte Oligarchien dauerhaft prägende Herrschaften begründen. Den Sonderfall des Alten Israel lasse ich hier beiseite.

Anders bei den Griechen: Die kleinen selbständigen Gemeinwesen an der Ägäis wurden von mehr oder weniger gleichberechtigten Grundbesitzern ausgemacht. Sie legten großen Wert auf Eigenständigkeit, also auf Freiheit, und in dieser Freiheit sowie um ihrer Bewahrung und Bekräftigung willen haben sie ihr Leben immer weiter ausgebildet, verfeinert, befestigt; sich Mittel geschaffen, um ihre Probleme zu erkennen und zu lösen, um auszudrücken, zu manifestieren, was ihnen wichtig war und was ihnen in einem anspruchsvollen Sinn als schön, also darstellens-, formens-, schmückenswert erschien; haben sie bestimmte Persönlichkeitsideale geformt und verbindlich gemacht – kurz, eben eine Kultur hervorgebracht.

Was dabei entstand, war, wie wohl jede Kulturbildung, Produkt unter Umständen heftiger Konflikte, von Ausgreifen und Widerstand, Sache der Gewöhnung und des Einschleifens bestimmter Verhaltens-, Handlungs-, Denk- und Ertragsweisen. Nur eben, im Unterschied zu allen andern ging diese Kulturbildung nicht von bestimmten zentralen Agenturen aus, einem Herrscher etwa samt seinem Stab, von disziplinierten Oligarchien und/oder von Priesterschaften. Vielmehr waren hier große Teile der gesamtgriechischen Gesellschaft im großen und der vielen Polisbürgerschaften im kleinen am Werk. Was hier wirkte, war eingebettet in die Allgemeinheit und deren Interesse an Freiheit. Die frühen griechischen Monarchen waren nicht mehr als *primi inter pares* und traten, als die Sache recht in Gang kam, ins Glied zurück. Und die kurz darauf verschiedentlich, oft in heftigen Machtkämpfen, zur Herrschaft gelangten Tyrannen haben sich nicht lange halten können.

Es fragt sich: Wie schaffen es Gemeinwesen, ohne Monarchen, ohne einen Staatsapparat, ohne Polizei, ja ohne eine in langer Herrschaftspraxis disziplinierte Oligarchie, sondern im Gegenteil: bei weit getriebener Freiheit der Einzelnen (zumindest im Adel), ein einigermaßen geordnetes friedliches Zusammenleben zu bewerkstelligen und zu sichern? Man muß hinzufügen, daß auch die Grundlagen einer frühen, mit Selbstverständlichkeit überlieferten Moral im Lauf der Zeit zumindest stark angenagt wurden. Wenn Arnold GEHLEN einmal festgestellt hat, der Mensch sei das instinktarme Tier, weshalb er Institutionen brauche, so waren die Griechen institutionenarme Menschen, weshalb sie in hohem Maße der Ratio bedurften (und sekundärer Institutionen) (GEHLEN 1961, S. 23f. Vgl. 59.)

Unter diesen Umständen Gemeinwesen aufzubauen und zu befestigen ist auf jeden Fall nicht leicht. Fast all das, was uns als griechisches *Kulturgut* erscheint, ist – so kann man zeigen – zu verstehen im Rahmen des Versuchs, die Polis in und zwischen ihren Bürgern zu konsolidieren und diese Bürger instanzzusetzen, zusammen die Polis (und ein polisgemäßes Leben) zu führen. Es war, um es zugespitzt zu sagen, gar nicht jenes – unter Umständen wundervolle – Beiwerk, das wir Kultur zu nennen (und gegebenenfalls zu vernachlässigen) uns angewöhnt haben, sondern Teil des Politischen, Ermöglichung eines guten Polis-Zusammen-

⁶ Genauere Ausführungen dazu MEIER 1993.

lebens. (Kultur ist es nach Anfängen im 4. Jahrhundert erst bei den Römern sowie in Mittelalter und Neuzeit geworden.)

Wenn man nun freie, bewegliche, ehrgeizige, ja machtgierige, zunehmend zu Willkür und Ausbeutung neigende Adlige zu domestizieren hat (ohne Erzwingungsstab, ohne halbwegs verlässliches Gerichtswesen und ohne daß man es auf einen Machthaber hinauslaufen lassen wollte), dann hilft bloßes gutes Zureden nicht viel. Man braucht vielmehr eine Gegenmacht. Die trat auch gelegentlich auf den Plan. Wenn sich nämlich die Notleidenden empörten. Doch das war seinerseits gefährlich, weil es zum Bürgerkrieg führen konnte. Was also tun?

Unter den verschiedenen Bemühungen zeichnet sich ein Strang ab, der hier von besonderem Interesse ist. Wenn sich Empörung zusammenbraute und es zunächst einmal zu Patt-Situationen kam (die Adligen waren in der Regel, die Empörer in der – drohenden – Ausnahmesituation mächtiger), rief man gern einen Weisen Mann zu Hilfe und gab ihm unbegrenzte Vollmacht, um die Dinge wieder ins Lot zu bringen. Es bildete sich unter den Griechen eine ganze Gruppe solcher Männer heraus, die die Probleme der heranwachsenden Polis durchdachten. Es waren bezeichnenderweise Privatleute, die als Ratgeber gefragt waren. Sie konnten die unmittelbaren Gravamina oft, unter Umständen durch einschneidende Maßnahmen, beheben. Aber vielfach sahen sie sich auch veranlaßt, zur dauerhaften Stabilisierung der Stadt weiteres zu tun. Das gerade beseitigte Schlamassel sollte sich ja nicht von neuem einstellen. Hier aber lag ein besonderes Problem. Hätten diese Männer im Auftrag eines Monarchen gehandelt, so hätten sie dessen Regiment vielleicht teils stärken, teils mäßigen können. Jedenfalls hätte der sich der Stadt des weiteren gerne angenommen. Aber gerade das sollte ja nicht sein. Auch sie selbst sollten jedenfalls nur vorübergehend walten; sich also durch ihr Wirken erübrigen. Es ging folglich darum, daß die Ordnung der Polis sich selber trug, d. h., daß eine bestimmte Balance zwischen verschiedenen Kräften hergestellt wurde.

Wenn man das will und für nötig und richtig hält, so muß man diese Kräfte samt den ihnen innewohnenden Tendenzen sehr viel genauer studieren und gegeneinander abwägen, als wenn das Ganze an einer zentralen Instanz aufgehängt wird (von der aus die Intellektuellen es bedenken können). Man braucht aber auch ein Konzept von Ordnung. Denn es ging in dieser frühen Zeit offensichtlich nicht – oder nicht nur – um das Stiften von Kompromissen, um pragmatische Überlegungen, sondern um die Zumessung der rechten Anteile für die verschiedenen Kräfte innerhalb des Ganzen. Das heißt, es mußten auch Überzeugungen von Rechter Ordnung erarbeitet und verbreitet werden, einer Ordnung, in der es gerecht, dem göttlichen Willen gemäß zugeht, d. h., der sich alles „fügen“ mußte.

Allgemein gesagt: Da Subjekte nicht herrschen sollten, brauchte man ein Objektives, an dem man sich orientieren konnte. Eben darum ging es, und das war nicht einfach zu haben.

Eigenartiger-, aber verständlicherweise spielte in diesem Zusammenhang eine bestimmte Theologie ihre Rolle. Griechische Götter waren natürlich mächtig. Sie konnten sehr willkürlich handeln. Man mußte sich mit ihnen gut stellen, durch Opfer und Fest etwa. Es ließ sich von ihnen manches erzählen. Man konnte mit Göttermythen dies und jenes deuten. Doch ist Religion bei den Griechen nicht (oder nur in Einzelheiten) zum Herrschaftsmittel geworden. Priesterschaften haben es nie vermocht, die Götter (und den Zugang zu ihnen) derart in Anspruch zu nehmen, daß sie mit ihrer Hilfe Macht hätten ausüben können. Soweit sie Einfluß besaßen, wie die in Delphi, wirkten sie als Ratgeber und nahmen teil an der intellektuellen Bewegung der Zeit. So wurde der Wille der Götter, aufs Ganze gesehen, speziell der des obersten von ihnen, Zeus, gleichsam dem Denken, Erwarten und Verlangen der Allgemeinheit

überantwortet. Und das richtete sich auf Gerechtigkeit; im einzelnen und im ganzen. Darauf wollte man bauen. Die rechte Ordnung mußte im Sinne des Zeus sein.

Je mehr man aber darüber nachdachte, suchte und fand man Gerechtigkeit im Vollzug irdischer Gesetzmäßigkeiten. SOLON, Athens großer Reformator, erkannte zum Beispiel, daß sich der bis dahin geglaubte Zusammenhang zwischen Unrecht und Strafe – Zeus beobachtet das Unrecht; er sendet dafür die Strafe – empirisch verifizieren läßt: Unrecht führt, und zwar von einem bestimmten Zeitpunkt an geradezu notwendig, zu Aufruhr, zur Spaltung der Bürgerschaft, zum Bürgerkrieg.⁷ Indem man dergestalt die immanente Verknüpfung der Dinge als gesetzmäßig erkannte, wurde es möglich, das drohende Unheil abzuwenden. Denn Erkenntnis befähigte, so lange dieser Zeitpunkt noch nicht erreicht war, zum Handeln: Man konnte mit ihrer Hilfe von der Notwendigkeit der Reform überzeugen. Man konnte insbesondere diejenigen gewinnen, die nicht direkt von der Not betroffen waren, indem man sie lehrte, daß das Unglück der Stadt, der Bürgerkrieg, letztlich auch sie traf. Damit eröffnete sich eine ganz andere Möglichkeit, eine Gegenmacht gegen den Adel, im Sinne einer Reform, ins Feld zu führen. Zugleich konnte man herausfinden, worin Rechte Ordnung bestand. Die Mißstände, die man diagnostizierte, konnten in ihr nicht vorgesehen sein. Man mußte ihre Umrisse also hinter dem Status quo suchen. Gerecht war, was in sich zu ruhen vermochte, ungestört durch Aufruhr. Und je mehr man verstand, wodurch Rechte Ordnung ausgemacht wurde, wurde eben dieses (glücklich empfundene) Verstehen zu einem Argument für die Gunst des Gottes (und die Möglichkeit der seinem Willen zugesprochenen Ordnung). Theologie wurde zu einer Komponente des Politischen Denkens.

So kamen die Griechen dazu, daß die Dinge auf der Erde Gesetzen gehorchen und daher zugänglich sind für rationale Erklärungen. Wenn man aber vermutete (und zu erkennen meinte), daß es auf der Welt mit rechten Dingen zugeht, konnte dies so leicht nicht auf den menschlichen Bereich beschränkt bleiben. Ja, alle Wahrscheinlichkeit spricht dafür, daß man anderswo, also in der Natur respektive im Kosmos Abstützung und Bestätigung suchen mußte für das, was man auf Erden erkannte; zumindest daß die Fragen (und ersten Antworten), welche in der – politischen – Luft lagen, sich auch auf Natur und Kosmos richten mußten. (Gerade wie man später den demokratischen Turnus in der Bekleidung von Ämtern im Wechsel von Sommer und Winter, Tag und Nacht wieder- [und bestätigt] finden wollte.)

Die Konsolidierung der Polis – nach der tiefen Erschütterung ihrer frühen Ordnung – war also mit einem außerordentlich hohen rationalen Aufwand verbunden, nicht mit der Zweckrationalität des Usurpators und Alleinherrschers (welche allenfalls streckenweise zum Erfolg führen konnte), sondern mit einer auf das Allgemeine gerichteten, das Ganze der Ordnung bedenkenden und durchdringenden, von allen einzelnen Kräften abstrahierenden Rationalität. Zumindest Ansätze zu einer Philosophie müssen darin enthalten gewesen sein.

Die Autorität, die die Weisen Männer brauchten, sowohl um raten zu können, wie um eventuell mit Vollmachten betraut zu werden, konnten sie nur aus sich selbst, aus eigenen Mitteln gleichsam gewinnen. Es war, wie immer sie sich äußern mochte, letztlich die Autorität von Privatleuten, die die Dinge besonders gut zu durchdenken und zu erklären wußten – und zugleich ein Forum darstellten, vor dem die Gedanken ausgetauscht und weitergetrieben wurden, vor dem jeder von ihnen sich beweisen mußte.

⁷ JAEGER 1926, S. 769ff.; MEIER 1970, S. 19ff.

Eine Ordnung, die sich selber trägt – das Problem des Politischen Denkens – finden wir interessanterweise bei ANAXIMANDER VON MILET,⁸ welcher nämlich (in der Mitte des 6. Jahrhunderts) auf die Frage, wodurch die Erde gehalten sei, antwortete: Dadurch, daß sie von allen Punkten des sie umgebenden Himmelskreises gleich weit entfernt sei und deshalb keinerlei Ursache habe, sich nach unten oder nach oben, zur einen oder zur andern Seite zu bewegen. Damit, so hat es VERNANT gedeutet, ist die Erde in einem durch geometrische Verhältnisse konstituierten Raum verankert. Und kein Element oder Teil der Welt ist mehr gegenüber den anderen privilegiert. Die Erde wird von keinem beherrscht – sowenig wie die Polis. Hier, möchte ich behaupten, lag ein spezifisch griechischer Ansatz des Denkens, Fragens, Forschens.

ANAXIMANDER hat zudem den Begriff der Gerechtigkeit in seine Deutung der Entstehung aller Dinge eingefügt. Am Anfang war das *Apeiron*, das Unbegrenzte. Aus diesem entstehen die Dinge und in dieses vergehen sie auch wieder, und zwar *kata to chreon*, nach der Schuldigkeit: „Denn sie zahlen einander gerechte Strafe und Buße für ihre Ungerechtigkeit nach der Zeit Anordnung.“

Das *Apeiron* ist ein typisch griechischer Begriff, gebildet wie so viele andere später – das Gute, das Gerechte etc. – durch Substantivierung eines Adjektivs, wodurch das Wesentliche an dem, was das Adjektiv meint, ausgedrückt werden soll. Der Sache nach ist ein solches Unbegrenzte vielleicht schon im Orient bezeugt. ANAXIMANDER könnte es jedenfalls von dort übernommen haben.

Allein, ob dies auch für das Werden und Vergehen der Dinge gilt, wissen wir nicht. Vor allem fragt sich, ob nicht die Einbringung der Gerechtigkeit in diesen Zusammenhang dafür spricht, daß sich hier zugleich politische Erfahrungen niedergeschlagen haben: Aller Aufstieg ist mit Unrecht verknüpft, kann aber in aller Regel nicht an denen wiedergutmacht werden, die das Unrecht erleiden; daher wird die Buße gezahlt an die nächsten, die durch ihren Aufstieg die zuvor Aufgestiegenen stürzen, um ihrerseits von den Darauffolgenden gestürzt zu werden. So daß in zeitlicher Abfolge geschieht, was gleichzeitig nicht geschehen kann. Wo unmittelbare Gerechtigkeit (etwa vor Gericht, zu Lebzeiten des Missetäters) oder überhaupt das Bestreben nach gerechtem Ausgleich in der jeweiligen Gegenwart nicht möglich ist, ergäbe sich eine andere Form der Bestrafung von Unrecht. Wiederum wären die Dinge immanent miteinander verknüpft, kommt man ohne höhere Instanzen (wenn man nicht die Zeit dafür halten will) aus. Die Konsequenz, daß alle Macht und Herrschaft auf Unrecht beruht (und auf Ablösung angelegt ist), wäre vermutlich vor den Griechen so leicht nicht zu ziehen gewesen.

So spricht manches dafür, daß in Milet während des 6. Jahrhunderts all das vom Orient Übernommene, zumindest teilweise, in neue Zusammenhänge geriet (und derart verwandelt in einen Anfang neuer Wissenschaft einging). Es waren zumindest andere Fragen, die die Griechen umtrieben, vermutlich auch eine andere Dringlichkeit und ein anderer Kontext, in dem sie sich bewegten, eben der eines neuen politischen, aber auch theologischen Denkens, dem es darum ging, alles mögliche zu erfahren und zu verstehen, um eine objektive Ordnung zu erkennen, wobei es sich nahelegte, ja vielleicht gar aufzwing, den Kosmos analog zur Polis zu untersuchen.

Früher hat man gern darauf hingewiesen, daß das jahrhundertelange Sammeln von Wissen – etwa über den Lauf der Gestirne – Sache von Priestern und Angestellten hätte sein müs-

sen.⁹ Das ist gewiß nicht falsch, schließt aber nicht aus, daß es daneben Privatleute gab, die sich dort wissenschaftlichen Fragen widmeten. Insofern weiß man nicht, ob eine Besonderheit der Griechen auch darin bestand, daß bei ihnen keine Priester, keine Angestellten, sondern Privatleute – und nur die – aus eigenem Vermögen sich der Forschung und zugleich der Spekulation über solche Fragen hingaben.

Das Nachdenken über die Welt und ihre Ordnung und damit die Suche nach den rechten Maßverhältnissen, die ihr zugrunde lagen, waren bei den Griechen jedenfalls das Korrelat der Freiheit. Es waren nicht einfach die einzelnen Faktoren zu bedenken, Mächtige, Notleidende, potentiell auch „Mittlere“, sondern die rechten Verhältnisse zwischen ihnen, die Balance. SO-LON spricht von einem „unsichtbaren Maß der Erkenntnis“, das am schwersten zu denken sei.¹⁰ HERAKLIT sagt, daß die „unsichtbare Harmonie stärker“ sei „als die sichtbare“.¹¹ Auch die mathematische Wissenschaft des PYTHAGORAS und der Pythagoreer mag in diesen Zusammenhang gehören, die an den Zahlen und den Verhältnissen zwischen ihnen (wie zwischen den musikalischen Intervallen in ihrer Beziehung zur Länge der Saiten) Zusammenhänge studierten, die wenig sichtbar, aber als Hinweise auf eine rechte Ordnung ungemein wichtig zu sein schienen.¹²

Als die Griechen endlich dazu kamen, stabile Ordnungen zu schaffen, mit einem gewissen Gleichgewicht zwischen Adel und Volk (man sprach von Isonomie, Gleichheitsordnung), findet sich sehr bald, übrigens bei einem Pythagoras-Schüler, dem Arzt und Philosophen ALK-MAION VON KROTON, die Einsicht, Gesundheit bestehe in einem Gleichgewicht, er nennt es Isonomie, zwischen Warmem, Kaltem, Feuchtem, Trockenem, Bitterem, Süßem. Die Alleinherrschaft (Monarchie) je eines dieser Elemente dagegen mache krank.¹³ Der Gedanke an ein solches Gleichgewicht sollte auch im *Corpus Hippocraticum* eine große Rolle spielen. Es scheint, daß die griechische Gesellschaft (respektive die geistig Regsten in ihr) die Welt aufgrund ihrer – gemeinsamen – Erfahrungen und ihrer – gemeinsamen – Bedürfnisse neu zu untersuchen begonnen hat. Wenn es für Menschen stets wichtig ist zu wissen, daß es auf Erden mit rechten Dingen zugeht, so mußten die Griechen vielerlei letztlich abstrakten Zusammenhängen und Ordnungen auf der Spur sein, um sich zurechtzufinden. Da mochten Einsichten aus dem Orient höchst willkommen sein, und doch, möchte ich behaupten, fing da etwas Neues an.

Und da das in einiger Breite – über die verschiedensten Gebiete hin – geschah, vollzog es sich auch im – sich verdichtenden – Wettbewerb, auf jene Weise also, auf die die Griechen sich so besonders gut verstanden; aufgrund der Umlenkung vieler Energien, unter anderem vom Machtkampf, auf das Agonale. Und mit dem Wettbewerb mußten sich Maßstäbe ergeben, Ansprüche auf Genauigkeit und Überprüfbarkeit und damit ein zunehmend methodisches Vorgehen.

Wie weit die Vorsokratiker im 6. Jahrhundert empirische Forschung getrieben haben, ist angesichts unserer äußerst fragmentarischen Überlieferung nicht zu klären. Von einem der jüngsten unter ihnen, dem um 460 geborenen und sehr alt gewordenen DEMOKRIT, hören wir, er habe Tiere seziiert, Untersuchungen über das Wachstum der Hörner, vergleichend zwischen

9 Zum Beispiel BURCKHARDT 1982, S. 184.

10 DIEHL 1954, S. 37: Fragment 16; SCHADEWALDT 1978, S. 119f.

11 DIELS 1961, I. Bd., S. 162 (Fragment 54).

12 PICHOT 1995, S. 331ff.

13 DIELS 1961, I. Bd., S. 215f. (Fragment 4).

8 DIELS 1961, I. Bd., S. 83f. A 11. 89 (Fragment 1); VERNANT 1982, S. 121ff.

Rehen und Rindern, angestellt, sich Gedanken über die Ernährung von Embryos, aber auch über die Entstehung von Sprache gemacht. Er hat, wie der (etwas ältere) ANAXAGORAS, die Gesetze der Perspektive studiert (zunächst im Zusammenhang mit der Bühnenbildmalerei). In zahlreichen Büchern soll DEMOKRIT sein Wissen dargelegt haben, u. a. über Astronomie, Geographie, Physiologie, Medizin, Botanik, Agrikultur und Epistemologie.¹⁴ Wir können nur nicht ermitteln, wie weit es sich dabei um eigene Forschungsergebnisse (respektive durch eigene Forschung bestätigte ältere Theorien) handelte. Unklar ist auch, wie weit sein Wissen orientalischen Quellen entstammte (und wie stark sich seine Forschungen von den im Orient angestellten unterschieden). Er hat jedenfalls Studienreisen nach Ägypten, Babylonien, Persien (ein späterer Autor spricht auch von Äthiopien und Indien) unternommen. Für seine – und seines Lehrers LEUKIPPOS – Lehre, daß die Materie aus im leeren Raum verteilten Atomen bestehe, wird ein phönizischer Vorläufer zitiert.

Schon gegen Ende des 6. Jahrhunderts ist in Milet und von Milet aus auf geographischem Gebiet empirische Forschung getrieben worden: Weite Küsten wurden erkundet, aus geographischen und ethnographischen Interessen, die Ergebnisse niedergeschrieben. Und schon für ANAXIMANDER ist bezeugt, daß er als erster Grieche eine Karte der Erde entworfen habe. Der Gelehrte HEKATAIOS habe darauf aufbauend eine genauere Karte gezeichnet.¹⁵

Geographische Forschung aber wurde auch von den Phöniziern betrieben, unter anderem – übrigens im Auftrag des ägyptischen Königs NECHO – durch eine jahrelange Expedition um Afrika herum.¹⁶ Wie weit da Unterschiede zu den Griechen bestanden, entzieht sich unserer Kenntnis. Auch die Perser hatten starke geographische Interessen und haben ihrerseits verschiedene Expeditionen ausgesandt.¹⁷

Was wir aber über die geographische Einteilung der Welt (respektive der Menschheit) im Orient wissen, ist jeweils auf das eigene Reich oder die eigene Hauptstadt bezogen: Dort ist das Zentrum der Welt, alle anderen gruppieren sich darum herum. Die Griechen dagegen gliedern die Welt nach einem objektiven Merkmal, der Ägäis als Grenze, in Erdteile. Es könnte sein, daß schon ANAXIMANDER oder HEKATAIOS die Unterscheidung zwischen Europa und Asien traf; dann hätte sie von vornherein geographische Gründe gehabt. Sollte sie später, d. h. im frühen 5. Jahrhundert, und zwar aus politischen Gründen, getroffen worden sein, so haben die Geographen sie bald übernommen. Als dritter Erdteil erscheint neben ihnen zunehmend Afrika unter dem griechischen Namen Libyen. Wohl meinten einige Griechen, die Mitte der Welt läge in Delphi, doch für die geographische Wissenschaft galt das nicht – und bei aller Hochschätzung, die die Griechen selbst sehr bald für Europa entwickelten: Viele von ihnen wohnten in Asien; wo ja auch die Heimat des HEKATAIOS war.

Eindeutig griechisch sind auf jeden Fall die Anfänge der historischen Wissenschaft bei HERODOT¹⁸ in der zweiten Hälfte des 5. Jahrhunderts. Hier besteht ein klarer Unterschied zu allem, was man im Orient beobachten kann. Denn natürlich gibt es dort, in Ägypten wie in Mesopotamien und nicht zuletzt bei den Hethitern, Darstellungen von Vergangenen. Im Vordergrund stehen dabei aber Tatenberichte von Herrschern, die sich von der Gegenwart aus

an die jeweilige Nachwelt richten. Zwar kann aufgrund solcher Berichte ein Gelehrter später ganze Reihen von Taten der Vergangenheit chronikartig zusammenstellen. Und gelegentlich sucht sogar ein hethitischer König in Vergehen seines Vaters die Ursache gegenwärtiger Mißstände.

Nirgends jedoch, soweit ich sehen kann, finden wir einen Privatmann wie HERODOT dabei, durch eigene Forschung in der ganzen (damaligen) Welt Aufschluß zu suchen, um zu verstehen, wie es dazu kam, daß die (so lange eher als Eines empfundene) Welt sich politisch in Ost und West schied und ein großer Krieg entstand, der eigenartigerweise mit dem Sieg des zahlenmäßig weit Unterlegenen endete. Es hätte ja vielleicht genügt, den Krieg auf Beratung und Beschluß und den Sieg auf die Götter, auf strategisches Geschick, Tapferkeit oder das Wetter zurückzuführen. HERODOT dagegen fand, man könnte das Geschehen nur verstehen, wenn man ein ganzes Bündel von Abläufen rekonstruierte, und zwar über zwei und mehr Generationen. Sein Ansatz ist also: Ein vielfältiges Geschehen langfristig aus multisubjektivem Zusammenwirken der Beteiligten nachzuzeichnen, d. h. – wie wir den Begriff gebrauchen – historisch zu verstehen. Kurzfristige Abläufe, etwa eine Schlacht oder ein Feldzug, muß man auch im Orient multisubjektiv haben nachzeichnen können. Aber daß man dort eine ganze große Geschichte so aus Handlungen und Ereignissen, Siegen, Niederlagen, Zufällen hätte verstehen können, dafür haben wir keinerlei Anhaltspunkte. Das wäre wohl nicht nur über die Fähigkeiten, sondern auch über die Bedürfnisse des Orients, übrigens auch Israels, hinausgegangen (und hätte wider die Erfordernisse der öffentlichen Repräsentation einer sinnhaften Geschehensdeutung verstoßen).

Bei der Feststellung der Abläufe befolgte HERODOT methodische Grundsätze, so gut er es konnte. Verlässlichkeit erforderte die getreue Wiedergabe der Zeugenaussagen (auch wenn der Inhalt höchst zweifelhaft sein mochte). THUKYDIDES hat das in der nächsten Generation erheblich weitergetrieben, übrigens zum Teil mit Hilfe medizinischer Kategorien¹⁹ und unter dem Einfluß der Sophistik. Ihm ging es um die durch Quellenkritik ermöglichte genaue Rekonstruktion des wirklichen Geschehens, zu dessen Erkenntnis er die Grundantriebe der menschlichen Natur erforschte und ins Feld führte.

In diesem 5. Jahrhundert kommt es, weit über die Historie hinaus, dazu, daß alles griechische Denken teils in Frage gezogen, teils befeuert, jedenfalls tief verwandelt wurde. Infolge davon wurde auch die griechische Wissenschaft in einem Ausmaß neu bestimmt, daß sie jetzt wohl eindeutig alles im Orient Erarbeitete hinter sich ließ.

Unerhörtes war geschehen. Die Griechen hatten das große persische Weltreich besiegt. Athen wurde über Nacht vom Kanton zur Großmacht. Jahrzehntlang erzielte es kaum für möglich gehaltene Erfolge. Im Innern der Stadt erlebte man einen einschneidenden Umsturz: Erstmals kam es zu einer radikalen Demokratie. Große, sich beschleunigende Veränderungen forderten immer neue Anpassungen, erschlossen aber auch ungeheure Möglichkeiten. Triumph und Angst lagen dicht beieinander. Und da man an vielen Stellen kaum Geahntes erfuhr, erreichte und erkannte, wuchs die Zuversicht, es auch an anderen Stellen zu vermögen.

Vor allem brachte die große Bewegung dieses Jahrhunderts eine kleine Gruppe von Intellektuellen zu großem Einfluß, die Sophisten. Sie sogen sich geradezu voll mit den neuen Möglichkeiten des Handelns und Denkens. Und zogen radikale Konsequenzen daraus. Die wichtigste in unserem Zusammenhang war die Behauptung der Relativität jeder Ordnung und je-

14 DIELS 1960, 2. Bd., S. 81ff.; GUTHRIE 1965, S. 386ff. Wenn man von ANAXAGORAS Entsprechendes kaum hört, könnte dies durch Zufälle der Überlieferung bedingt sein. Zu seinen Kenntnissen vom Wachstum von Hörnern: PLUTARCH, Perikles 6.

15 DIELS 1961, 1. Bd., S. 82, A 6; VERNANT 1982, S. 129f.

16 HERODOT 1927, 4, S. 42.

17 HERODOT 1927, 3, S. 135f. 4, S. 44.

18 MEIER 1980, S. 360 ff.

19 RECHENAUER 1991.

der Erkenntnis: „Aller Dinge Maß ist der Mensch, der Seienden, daß sie sind, der Nichtseienden, daß sie nicht sind“, fand PROTAGORAS.²⁰ Jeder nach seinem Urteil also. Objektivität gibt es nicht. Man hatte nicht nur im Raum (also im Studium fremder – und zum Teil sehr ferner – Gesellschaften), sondern auch in der Zeit (und an der eigenen) erfahren, wie unterschiedlich Menschen denken, glauben und auch beschließen, unter Umständen in sehr kurzen Abständen (was für eine Zeit, die zunächst noch dem *einen* wahren Recht verpflichtet war, eine unerhörte Ausdünnung von Gewißheit bedeutete). Alles Recht sei also bloße Konvention, vielfach Produkt politischer Willkür. Und alles Dafürhalten subjektiv.

Diese Sophisten pflegten das Wissen (und versuchten immer mehr davon zu gewinnen). Sie waren auch bestrebt, sich selbst zu übertreffen: „Ich versuche immer Neues zu sagen“, erklärte HIPPIAS VON ELIS.²¹ Er hielt Vorträge über Astronomie, Geometrie, Arithmetik, Grammatik, Musik, Genealogie, Mythologie und Geschichte. Auch eine mathematische Entdeckung soll er gemacht haben. Es könnte sein, daß er durch die Weite seines Wissens aus der Reihe der anderen weit herausgeragt hat. Jedenfalls aber war es den Sophisten darum zu tun, ganze Sphären praktischen Handelns (Hauswirtschaft, Ökonomie, Verwaltung der Stadt) methodisch zu durchdringen, um sie besser beherrschen zu können.²² Hier war Wissenschaft, soweit man davon sprechen kann, durchaus praktisch und auf naheliegende Zwecke orientiert. Und alles Denken war relativ voraussetzungslos. Die Sophisten konnten die Frage stellen, ob Sklaven so anders waren als andere Menschen. Nicht zuletzt sahen sie sich zur Erkenntnis-kritik genötigt. Zweifel daran, daß die Sinne fähig seien, die Wahrheit zu erkennen, waren schon länger geäußert worden. Doch strebten die Sophisten auch danach, hinter allem Relativen etwas Festes, von Meinungen Unabhängiges zu finden, die *physis*, wir übersetzen: Natur.²³ Gemeint ist das Vorgegebene. Womit auch das Naturrecht umfaßt ist.

Wie weit all dies zur Wissenschaft gehört, kann man fragen. Einen klaren Begriff von Wissenschaft, der unseren (vielfach ja aber auch problematischen) Vorstellungen davon entspreche, gab es ohnehin nicht. Systematische Erörterung von Sachverhalten aufgrund gründlicher, umsichtiger methodischer Orientierung, das vor allem war es, was sich damals herausbildete, und daran hatten die Sophisten teil.

Wichtig aber war vor allem, was von den Sophisten an Herausforderung ausging, in Konsequenz all dessen, was das so unerhörte 5. Jahrhundert hervorgebracht hatte. Unmittelbar spürbar ist es für uns im Werk PLATONS, der aufs heftigste gegen sie polemisierte, aber immer wieder auf ihre Infragestellungen zurückkam. Genauer: der nicht zuletzt durch sie dazu kam, seine Sonde sehr tief anzusetzen, indem er die ganze Sinnenwelt durchstieß und auf die Ideen, die allgemeinen, von keiner Zeit berührten festen Größen, die allem einzelnen zugrunde lagen, und letztlich auf das Gute rekurrierte – und dabei nicht nur große Teile des Wissens seiner Zeit aufnahm, sondern in den verschiedensten Hinsichten seine Fragen so tief und so bohrend stellte, daß sie bis heute nicht zur Ruhe gekommen sind (was immer man von seinen Antworten halten mag). Übrigens war er stark von PARMENIDES beeinflusst, der seinerseits in der Schule der Eleaten deutliche Unterscheidungen zwischen dem sinnlich Wahrnehmbaren und der Wahrheit getroffen hatte.

PLATONS Schüler ARISTOTELES hat sich sodann tiefer in die verschiedensten Wissenschaften eingelassen, hat sie intensiv betrieben. Wie weit er an Vorgänger wie DEMOKRIT anknüpfen konnte, ist schwer zu ermitteln. Wahrscheinlich waren die Wissenschaften schon vor ARISTOTELES auf viele Weisen vorangetrieben worden. Jedenfalls hat er, respektive haben seine Schüler und Freunde, zahlreiche Forschungen angestellt. Und die Weise, in der er all die Ergebnisse kritisch prüfte und systematisch ordnete, markierte ihrerseits einen weiten, großen Schritt: Ob es die Politik (die Wissenschaft von der Polis), die Rhetorik, die Ethik oder die Wissenschaften von der Natur, von der Bewegung, die Zoologie, die Botanik oder die Astronomie waren; um nur einige zu nennen.

Wir sind über die griechischen Anfänge der Wissenschaft (das Wort in einem sehr allgemeinen Sinn genommen) inzwischen ein Stück hinausgekommen. Haben mit ARISTOTELES fast die Schwelle des Hellenismus erreicht, jener Zeit, in der sich die hellenistischen Monarchen, vor allem, aber nicht nur, die Ptolemäer, sehr angelegentlich der Wissenschaften annahmen. Sie haben nicht nur in großem Stile Handschriften gesammelt (und wissenschaftlich bearbeiten lassen), eine großartige Bibliothek aufgebaut, Gelehrte an ihren Hof (genauer: die Museenanstalt, das Museion) gezogen, sondern sich vielfach auch persönlich für die wissenschaftlichen Debatten interessiert. Und nicht oder jedenfalls nicht vornehmlich aus praktischen Gründen (wie das die Fürsten der Neuzeit taten, wenn sie etwa Akademien gründeten, in denen es nach LEIBNIZ' Wort um *theoria cum praxi* ging). Nein, sie hatten Freude an der Theorie. Auch wenn man das Ausmaß nicht gering schätzen darf, in dem damals auch praktische Probleme und deren Bewältigung durch zunehmend bessere Methoden vielfach behandelt worden sind. Es fand seinen Niederschlag in einer reichen Fachschriftstellerei.²⁴

Damals begann, soweit wir sehen können, die griechische Wissenschaft im strengeren Sinne des Worts. EUKLID schrieb seine „Elemente“, ERATOSTHENES vermaß die Welt, ARISTARCH VON SAMOS und andere fanden heraus, daß die Erde sich um die Sonne drehe (nachdem man schon vorher – aufgrund der Beobachtung von Mondfinsternissen – die Kugelgestalt der Erde erkannt und für wahr genommen hatte). ARCHIMEDES erzielte nicht nur große mathematische Erkenntnisse, sondern baute auch „die archimedische Schnecke“ (einen Wasserheber), Flaschenzüge und Hebelwerke sowie Kriegsmaschinen, die seiner Heimatstadt Syrakus zwei Jahre lang halfen, den römischen Belagerern zu widerstehen. Wenn man so will, könnte man erst hier die griechischen Anfänge der Wissenschaft sehen.

Schon um 500 hat XENOPHANES geschrieben: „Wahrlich nicht von Anfang an haben die Götter den Sterblichen alles enthüllt, sondern mit der Zeit finden sie suchend das Bessere.“ Im 5. Jahrhundert ist man sich bewußt geworden, daß „bei jeder Methode und Fertigkeit (*techné*) das Neue die Oberhand behält“. SOPHOKLES nennt den Menschen „im Erfinden nimmer verhoffter Dinge Meister“. Denn „es gibt nichts bei den Menschen, was nicht, wenn man es untersucht, mit der Zeit gefunden wird“ (CHAIREMON um 400). Für ARISTOTELES ist „die Zeit“ ein guter Erfinder und Helfer, woraus die Verbesserungen der Fertigkeiten und Methoden (*technai*) sich ergäben. Die Stellen ließen sich vermehren. Man rechnet also in der Wissenschaft mit immer weiterem Vorankommen. *Saecula semper proficere* (die Jahrhunderte schreiten stets voran), meint PLINIUS, während SENECA gar feststellt: „Es wird die Zeit kommen, da Verstand und gewissenhafte Forschung eines längeren Zeitraums ans Licht bringt, was jetzt verborgen ist [...], da unsere Nachkommen sich wundern, daß wir so offensichtliche Dinge nicht gewußt haben.“ Er spricht von der Astronomie. „Vieles ist für die Jahrhunderte, welche

²⁴ Das Material dazu ist gesammelt bei MEISSNER 1999.

²⁰ DIELS 1960, 2. Bd., 263f.

²¹ XENOPHON, Memorabilien 4,4,6. GUTHRIE 1969, S. 280 ff.

²² MEIER 1980, S. 453ff.; SPAHN 1984.

²³ HEINIMANN 1965; GUTHRIE 1969, S. 55ff.; FLASHAR und KERFERD 1998, S. 11ff.

sein werden, wenn die Erinnerung an uns erloschen ist, reserviert. Eine Winzigkeit wäre das Weltall, wenn nicht jedes Zeitalter in ihm etwas zu erforschen hätte.“²⁵

Freilich ist aller wissenschaftliche Fortschritt von heute her gesehen an Grenzen gestoßen. Ob man sie für weit oder für eng halten will, hängt davon ab, welches Maß man anlegt und womit man vergleicht. Soweit die Quellenlage das zuläßt. Der Vergleich mit den orientalischen Kulturen kommt nicht sehr weit. Gegen die europäische Neuzeit ist ohnehin alles Frühere wenig beträchtlich. Allenfalls die frühen Phasen neuzeitlicher Wissenschaft könnten hier fruchtbar herangezogen werden. Dazu aber braucht man bessere Kenntnisse – und ein besseres Verständnis – der Wissenschaftsgeschichte, als ich sie besitze.

Vielleicht darf ich abschließend zunächst eine Vermutung vortragen, um sie sodann aus einer generalistischen Perspektive in einen weiteren Zusammenhang zu stellen. Die Vermutung wäre: Bei allen großen wissenschaftlichen Entdeckungen, die antike Gelehrte gemacht haben, die anderswo aufgenommen und weitergegeben worden sind, bei allem Interesse auch, das sie fanden: Forschung blieb im Wesentlichen Sache eines relativ kleinen Kreises von Männern. Sei es, daß sie zu wenige waren, sei es, daß sie sich zu schnell mit dem von ihnen Erkannten zufrieden gaben (beides aufs Ganze gesehen), jedenfalls scheint jene Verzahnung nicht stattgefunden zu haben, durch die Erkenntnis, Rezeption und breitere Erwartung zu einer Dynamik sich multiplizieren können.

Eine Erklärung dafür könnte im Verhältnis der damaligen Menschen zur Natur gesucht werden. Hannah ARENDT spricht von der neuzeitlichen Überzeugung, „daß Wahrheit sich nur dem Zugreifen, nicht dem Zuschauen erschließen würde“.²⁶ Die Antike dagegen blieb wesentlich beim *theorein*, worunter sie primär das Anschauen meinte. Ein Satz wie derjenige BACONS, es gelte, die Natur zu beherrschen – in gewissem Sinne eine Konsequenz aus dem Gebot, daß der Mensch sich die Erde untertan machen solle²⁷ – wäre ihr nicht in den Sinn gekommen; auch wenn sie hier und dort durchaus in die Natur einzuwirken versuchte. Da war eine Grenze, deren Verlauf nicht ganz klar war, die es aber trotzdem gab. Natur war das Vorgegebene. Man studierte sie, um gesetzmäßige Zusammenhänge zu erfahren, um sich daran zu orientieren. Ihr zu Leibe zu rücken, bestand letztlich kaum Anlaß oder Möglichkeit.

Es kam aber, so vermute ich, weiteres dazu: Trotz aller Forschungsförderung durch hellenistische Monarchen, trotz des Aufkommens eines gewissen Kosmopolitismus, blieben die Gelehrten eingebettet in die griechische Gesellschaft, deren Ideale, ja: deren Seinsweise vom Polisbürgertum bestimmt war. Das hieß: Leben war vor allem Zusammenleben in der Öffentlichkeit, in der Allgemeinheit, in der man in einem umfassenden Sinne allgemein menschliche Fähigkeiten ausbilden sollte. Spezialisierung hingegen wurde ebenso wenig geschätzt wie Absonderung. Arbeit stand nicht hoch im Kurs.²⁸

²⁵ Die einzelnen Nachweise sind aufgeführt bei MEIER 1975. Hinzuzufügen wäre nur ARISTOTELES, Nikomachische Ethik 1098 a 24. Für den weiteren Zusammenhang: EDELSTEIN 1967, DODDS 1973. Die Übertragung des Fortschrittsbegriffs auf die Antike ist durchaus problematisch. Es gibt zweifellos, gerade im Hinblick auf die Wissenschaft, zahlreiche Fortschritte und, wie sich zeigt, auch ein deutliches Bewußtsein davon. Doch all das, was mit dem modernen Fortschrittsbegriff aufgekommen ist, das Bewußtsein, daß „die Geschichte“ Fortschritt ist, auf den verschiedensten Gebieten und in Form eines durch viele Wechselwirkungen dazwischen ausgezeichneten Prozesses, kennt die Antike nicht. Was im 5. Jahrhundert v. Chr. teilweise ähnlich aussieht, ist nur ein „Königsbewußtsein“. (MEIER 1980, S. 435ff.)

²⁶ ARENDT 1960, S. 282.

²⁷ Genesis 1, 28. DIHLE 1969, S. 439.

²⁸ Hierzu und zum Folgenden MEIER 2003.

Wohl gab es glänzende Spezialisten, großartige Handwerker und Künstler; man nahm ihre Leistungen mit Freuden in Anspruch. Aber als Bürger waren sie kaum geschätzt. Unter solchen (hier nur ganz kurz zu umreißen) Umständen, bleibt dem einen oder anderen viel Spielraum, und die Gelehrten haben ihn genutzt. Aber, wenn man so sagen darf, die Zufuhr an Energien aus der Gesellschaft, die Bereitwilligkeit, sich in den Dienst von Sachen zu stellen, ließ, aufs Ganze gesehen, zu wünschen übrig.

ARISTOTELES hat, anknüpfend an PLATON, das Ideal formuliert, in Muße zu leben. Das Höchste seien Dinge, die um ihrer selbst, nicht um anderer Zwecke willen, da seien. Und dazu gehörte Erkenntnis. Muße war durch nichts so sinnvoll zu erfüllen wie eben durch das Erkennen, wie die Welt eingerichtet ist, um dem Göttlichen auf die Spur zu kommen. Aber, fügt ARISTOTELES hinzu, das dürfe nicht in Arbeit ausarten. Damit war eine Art Selbstgenügsamkeit (Autarkie) gegeben. Übrigens auch ein starker Bezug aller Forschung auf Philosophie.

Was Impetus zu so vielen Fragen gewesen war – die mit der Freiheit vermachte Notwendigkeit, gesetzmäßige, strukturelle Zusammenhänge zu erkennen, wie in der Politik, so im Kosmos, so aber auch in Biologie und Medizin – das scheint diesen Fragen an irgendeiner Stelle eine Grenze gesetzt zu haben.

Wissenschaft ist – als Sache der Muße – aber nur denkbar in einer weithin statischen (oder doch als statisch verstandenen) Welt. Das war die Poliswelt, die zwar im Politischen aufs höchste entwickelt und beweglich, im übrigen aber festgelegt war (auf die kleinen Poleis als einzig denkbaren Lebensrahmen, auf eine bestimmte gesellschaftliche Schichtung inklusive Sklaverei und Zurücksetzung der Frauen etc.). Mittel und Ansprüche respektive Bedürfnisse hatten sich in der griechischen Poliswelt früh aufeinander eingespielt – außer eben im Politischen, wo es die großen Konflikte gab, so wie vielfach auch im Wirtschaftlichen, wo große Not breiteren Kreisen zu schaffen machen konnte – ohne daß man jedoch an der bestehenden Ordnung dann noch Zweifel hegte hätte.

Die Geschichte Europas seit der Völkerwanderung dagegen ist auf längste Strecken dadurch bestimmt gewesen, daß zwischen den (geistigen, mentalen, politischen, wirtschaftlichen, technischen) Mitteln und den Ansprüchen und Bedürfnissen stets eine Kluft bestand, welche als virulent empfunden wurde und sich, je weiter man kam, immer neu auftat. Nicht zuletzt dadurch, daß von der Antike her Leistungen und Ideale überliefert waren, die man selbst so leicht nicht erreichen konnte. Daraus ergaben sich ganz andere Spannungen, als die Antike sie je gekannt hatte, und es könnte eine Erklärung dafür sein, daß Wissenschaft in der Neuzeit eine so ganz andere Dynamik entwickelte. Ich möchte vermuten, daß dies ohne die Vorgaben von der Antike her kaum möglich gewesen wäre.

Aber – aus der Geschichte dieser Welt stammten auch die Ansprüche an Wissen und Wissenschaft: auf möglichst genaue, möglichst empirisch untermauerte, möglichst beweisbare Erkenntnis. Der Radius des zu Erkennenden war begrenzt. An anspruchsvolle Experimente dachte keiner. Und von praktischer Nutzenanwendung war ohnehin wenig die Rede (außer im Militärischen). Aber um so anspruchsvoller konzentrierten sich die Erwartungen auf die Theorie. Und letztlich setzte sich in dieser Theorie fort, was die Poliswelt in ihren Anfängen so dringend nötig hatte und was sie folglich auch weiter hoch verehrte: die umfassende Erkenntnis, unabhängig von religiösen Vorgaben, auf die sich die Ratio der Polis selbst stützte, auf welche das institutionenarme Volk der Griechen bauen mußte.

Literatur

- ARENDR, H.: Vita Activa oder Vom tätigen Leben. Stuttgart: Kohlhammer 1960
 ARISTOTELES: Ethika Nicomachea. Ed. F. SUSEMIHL et O. Apelt. Leipzig: Teubner 1912
 BREASTED, J. H.: The Edwin Smith Surgical Papyrus. Chicago 1930
 BURCKHARDT, J.: Über das Studium der Geschichte. Der Text der ‚Weltgeschichtlichen Betrachtungen‘ nach den Handschriften herausgegeben von P. GANZ. München: C. H. Beck 1982
 BURKERT, W.: Die Griechen und der Orient. Von Homer bis zu den Magiern. München: C. H. Beck 2005
 DIELS, H. (Ed.): Die Fragmente der Vorsokratiker. Zehnte Auflage herausgegeben von W. KRANZ. Berlin: Weidmann. Erster Band 1961, Zweiter Band 1960
 DIEHL, E. (Ed.): Anthologia Lyrica Graeca 1: Poetae Elegiaci. Leipzig: Teubner 1954
 DIHLE, A.: Besprechung EDELSTEIN. *Gnomon* 41, 433–439 (1969)
 EDELSTEIN, L.: The Idea of Progress in Classical Antiquity. Baltimore: The Johns Hopkins Press 1967
 DODDS, E. R.: The Ancient Concept of Progress and Other Essays on Greek Literature and Belief. Oxford: Clarendon Press 1973
 FLASHAR, H., und KERFERD, G. B.: Die Sophistik. In: FLASHAR, H. (Ed.): Grundriß der Geschichte der Philosophie. Die Philosophie der Antike 2/1, 3–137. Basel: Schwabe 1998
 GEHLEN, A.: Anthropologische Forschung. Reinbek: Rowohlt 1961
 GUTHRIE, W. K. C.: A History of Greek Philosophy. Vol. 2: The Presocratic Tradition from Parmenides to Democritus. Cambridge: Cambridge University Press 1965
 GUTHRIE, W. K. C.: A History of Greek Philosophy. Vol. 3: The Fifth Century Enlightenment. Cambridge: Cambridge University Press 1969
 HEINMANN, F.: Nomos und Physis. Herkunft und Bedeutung einer Antithese im griechischen Denken des 5. Jahrhunderts. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1965
 HERODOT: Historien. C. Hude. Dritte Auflage. Oxford: Clarendon 1927
 JAEGER, W.: Solons Eumonie. Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften 1926
 LLOYD, G. E. R.: Magic, Reason and Experience. Studies in the Origin and Development of Greek Science. Cambridge: Cambridge University Press 1979
 MEIER, C.: Entstehung des Begriffs ‚Demokratie‘. 4 Prolegomena zu einer historischen Theorie. Frankfurt (Main): Suhrkamp 1970
 MEIER, C.: ‚Fortschritt‘ in der Antike. In: BRUNNER, O., CONZE, W., und KOSELLECK, R. (Eds.): Geschichtliche Grundbegriffe. Band 2. Stuttgart: Klett 1975
 MEIER, C.: Die Entstehung des Politischen bei den Griechen. Frankfurt (Main): Suhrkamp 1980
 MEIER, C.: Athen. Ein Neubeginn der Weltgeschichte. Berlin: Siedler 1993
 MEIER, C.: Griechische Arbeitsauffassungen in archaischer und klassischer Zeit. Praxis. Ideologie. Philosophie. Weiterer Zusammenhang. In: BIERWISCH, M. (Ed.): Die Rolle der Arbeit in verschiedenen Epochen und Kulturen. Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften. Berichte und Abhandlungen. Sonderband 9, S. 19–76. Berlin: Akademie Verlag 2003
 MEISSNER, B.: Die technologische Fachliteratur der Antike. Struktur, Überlieferung und Wirkung technischen Wissens in der Antike (ca. 400 v. Chr. – ca. 500 n. Chr.). Berlin: Akademieverlag 1999
 PICHOT, A.: Die Geburt der Wissenschaft. Von den Babyloniern zu den frühen Griechen. Frankfurt (Main): Campus 1995
 PLUTARCH, Perikles. In: Vitae parallelae. I, 2. Ed. K. ZIEGLER. Leipzig 1959
 RECHENAUER, G.: Thukydides und die Hippokratische Medizin. Naturwissenschaftliche Methodik als Modell für Geschichtsdeutung. Hildesheim, Zürich, New York: Georg Olms 1991
 SCHADEWALDT, W.: Die Anfänge der Philosophie bei den Griechen. Die Vorsokratiker und ihre Voraussetzungen. Tübinger Vorlesungen Band 1. Frankfurt (Main): Suhrkamp 1978
 SPAHN, P.: Die Anfänge der antiken Ökonomik. Chiron. Mitteilungen der Kommission für Alte Geschichte und Epigraphik des Deutschen Archäologischen Instituts 14, 301–323 (1984)
 VERNANT, J. P.: Die Entstehung des griechischen Denkens. Frankfurt (Main): Suhrkamp 1982
 XENOPHON, Commentarii. In: Opera omnia. Ed. E. C. MARCHANT. Oxford 1958

Prof. Dr. Christian MEIER
 Ludwig-Maximilians-Universität München
 Institut für Alte Geschichte
 Geschwister-Scholl-Platz 1
 80539 München
 Bundesrepublik Deutschland
 Tel.: +49 89 21803541
 Fax: +49 89 21802322

„Beeinflussung der Evolution durch den Menschen“ Bericht über die Podiumsdiskussion

Michael KAASCH und Joachim KAASCH (Halle/Saale)

Das komplexe Thema „Beeinflussung der Evolution durch den Menschen“ stand im Mittelpunkt der Podiumsdiskussion unter Leitung und Moderation von **Randolf MENZEL** (Berlin), Mitglied der Akademie. Zur Diskussion waren **Claus R. BARTRAM** (Heidelberg), Mitglied der Akademie, **Axel MEYER** (Konstanz), **Josef REICHHOLF** (München), **Paul SCHMID-HEMPEL** (Zürich), Mitglied der Akademie, und **Gereon WOLTERS** (Konstanz), Mitglied der Akademie, gebeten worden.

Nach der Vorstellung der Diskutanten eröffnete der Neurobiologe **MENZEL** die Aussprache mit einigen Ausführungen zur Evolutionsbiologie. Er untersuchte zunächst die Frage, ob sich aus dem Verständnis des Evolutionsgeschehens Perspektiven für zukünftige Entwicklungen ableiten lassen, und zwar nicht nur hinsichtlich der Evolution des Menschen, sondern ebenso der Evolution des gesamten Organismenreichs auf der Erde. Er ging dabei von der Feststellung aus, daß man sich bei der Betrachtung der historischen Aspekte von Evolutionsgeschehen und Evolutionstheorie auf sicherem Grund bewege, während Zukunftsperspektiven in das Gebiet der Phantasie führen und Spekulationen verlangen. Die Diskussion müsse auch solche Extrapolationen zulassen, jedoch sei es wichtig, zwischen Fakten und Fiktionen zu differenzieren.

MENZELs Ausführungen konzentrierten sich dann auf zwei Fragenkomplexe. Im ersten Teil ging er der Frage nach, ob der Vorgang der Entstehung neuer Arten im Evolutionsgeschehen durch die Evolutionstheorie angemessen und erschöpfend behandelt werde. Im zweiten Abschnitt analysierte er das Verhältnis zwischen biologischer und kultureller Evolution. Für den ersten Problemkreis kam er zu dem Schluß, daß die Tatsache der Evolution und das Evolutionsgeschehen von der Evolutionstheorie in vielerlei Hinsicht umfassend dargestellt werden. Es sei jedoch die Frage, ob unter Berücksichtigung der neuen Ergebnisse aus Genetik und Molekularbiologie diese Erklärungen überzeugen könnten. Das sei hinsichtlich des Evolutionsgeschehens durchaus der Fall. Untersucht werden müsse jedoch noch, ob weitere Mechanismen, die in der Evolution wirksam werden, hinzutreten. Neben zufälligen Änderungen im Genom können auch Verschiedenheiten in den Aktivierungszuständen von Genen, die ohne strukturelle Veränderung der Gene auftreten, an die nächste Generation weitergegeben werden. Es handelt sich dabei um sogenannte epigenetische Phänomene, wie etwa die Methylierung bestimmter Gensequenzen und das Wirken interferierender RNA. Solche Vorgänge spielen z. B. bei der Steuerung von Entwicklungsprozessen, aber auch bei Prionen-erkrankungen eine Rolle. Mitunter wird auch die erhöhte Mutationsrate von Bakterien als Antwort auf Stress von einigen Wissenschaftlern als eine Form gerichteter Evolution interpretiert. Man muß dann untersuchen, ob hier gewissermaßen über die Hintertür die Lamarck-sche Denkweise einer Vererbung erworbener Eigenschaften wieder eingeführt werden soll. Strittige Beispiele, die schon viele Forscher beschäftigten, wie etwa beim Löwenmäulchen,

ließen sich z. B. auf Methylierungsunterschiede zurückführen. Ähnliche Beispiele gibt es bei Mäusen. Es bleibt die Frage zu untersuchen, ob ein solcher epigenetischer Informationstransfer für den Evolutionsvorgang Bedeutung erlangen kann und gegebenenfalls vom Menschen in einer direkten Weise zu beeinflussen wäre.

Beim zweiten Themenkomplex, dem Verhältnis zwischen biologischer und kultureller Evolution, steht nach MENZEL die Weitergabe im Laufe des Lebens erworbener Informationen an die nachfolgende Generation über Traditionsbildung im Mittelpunkt. Dieser Vorgang ist bereits im Tierreich gut belegt und spielt beim Menschen eine besonders wichtige Rolle. Für MENZEL traten hier zwei zentrale Fragen hervor: Lassen sich *erstens* die Vorgänge der kulturellen Evolution formal so beschreiben wie die der biologischen Evolution? Und wirkt *zweitens* die kulturelle Evolution auf den Vorgang der biologischen Evolution zurück? Für eine formale Übertragung gibt es Beispiele, jedoch müsse dann geprüft werden, welche Aussagen sich daraus folgern lassen. Für den zweiten Punkt verwies MENZEL auf die Publikationen von Richard DAWKINS über besondere Einheiten der Traditionsbildung, die Meme, betonte jedoch das Problematische dieses Ansatzes. So werden diese Meme nicht einfach kopiert, wie es für die Einheiten der biologischen Evolution ein wesentlicher Vorgang ist, sondern rekonstruiert. Ihre Selektion erfolgt nicht ungezielt, wie dies für die biologische Evolution charakteristisch ist, usw. usf. Die kulturelle Evolution hat für MENZEL daher Lamarcksche Komponenten, ist aber ein völlig anderer Vorgang im Vergleich zur biologischen Evolution. Das bedeute aber nicht, so MENZEL weiter, daß eine formale Beschreibung mit vergleichbaren Zugängen nicht partiell sinnvoll sein könne. Man denke dabei etwa an evolutionär-orientierte Psychologen, die mentale Module als Einheiten der Kognition definieren, oder an die Thesen zur universalen Grammatik von Noam CHOMSKY. Es bleibt die Frage, ob hier durch individuelle Erfahrung Erworbenes in die genetische Konstitution eingreift, d. h., ob es biologisch schnell evolvierende Gene gibt, die Träger solcher Kultureigenschaften sind. Epigenetische Phänomene könnten hier im Sinne einer Lamarckschen Komponente eine Rolle spielen. In gewisser Weise vermische sich zwischen kultureller und biologischer Evolution die Grenzziehung von Darwinschen und Lamarckschen Evolutionsvorstellungen.

Bei näherer Betrachtung zeigt sich, so MENZEL abschließend, daß unser Verständnis der Evolution doch nicht auf so sicherem Boden steht, wie gemeinhin angenommen wird. Eine Klärung der anstehenden Fragen ist daher für die Abschätzung, ob der Mensch auf die Evolution einwirken könne, sehr wichtig.

Der Evolutionsbiologe Josef REICHHOLF konzentrierte seine Ausführungen auf vier Bereiche. *Erstens* behandelte er das Problem der „biologischen Art Mensch“. *Zweitens* untersuchte er das Verhältnis von biologischer und kultureller Evolution. *Drittens* wandte er sich den Möglichkeiten einer mehr oder minder direkten Beeinflussung der weiteren Evolution durch den Menschen zu und untersuchte *viertens* die absehbaren bzw. zu befürchtenden Auswirkungen des Menschen auf die Biosphäre.

Bereits die biologische Art Mensch bereitet Schwierigkeiten. Es bestehe noch immer, so REICHHOLF, bei der Klassifizierung keineswegs Übereinstimmung, ob der Mensch als *Homo sapiens sapiens* oder *Homo sapiens* anzusehen sei und ob der Neandertaler als eigene Art abzutrennen wäre. REICHHOLF betrachtete den Neandertaler als eigenständige Art. Er betonte jedoch, daß die Lage schwierig sei, weil sich der Artbegriff in der Paläontologie nicht unmittelbar und direkt nach dem biologischen Artbegriff fassen ließe. Wenn man aber im Sinne des Evolutionsbiologen Ernst MAYR die biologische Art Mensch definieren wolle, dann müsse man mehrere Aspekte berücksichtigen: So wäre zunächst der gegenwärtige Zustand zu be-

denken. Die Art Mensch ist geographisch sehr weit verbreitet und ihrem äußeren Erscheinungsbild nach – wenigstens auf den ersten Blick – sehr vielfältig. Für die kulturellen Formen ist ohnehin eine riesige Mannigfaltigkeit feststellbar. Daraus erschließt sich nicht sofort, daß der Mensch nur eine zoologische Art ist. Jeder klassifizierende Zoologe würde vielmehr zumindest eine polytypische Art folgern, die sich in verschiedene Unterarten und Populationen gliedern läßt. Bei Tierarten wird selbstverständlich so verfahren, sogar dann, wenn Übergänge vorhanden sein sollten. Für den Menschen folgt aus diesen Überlegungen, daß der geographischen Differenzierung auch eine genetische Differenzierung, in welchem Ausmaß auch immer, entsprechen muß. Die Menschheit hat erst, nachdem die Art *Homo sapiens* ausgebildet war, Afrika verlassen. Sie breitete sich keineswegs gleichmäßig und kontinuierlich, sondern in Schüben über den ganzen Erdball aus. Es entstanden einzelne Populationen mit besonderen Anpassungen. Es müsse daher, so REICHHOLF, davon ausgegangen werden, daß sich die Menschheit aus einer Vielzahl quantitativ unterschiedlicher Genome zusammensetze, die insgesamt eine Einheit, die Art Mensch, bilden. Sie entspricht aber keinesfalls dem Idealfall einer panmiktischen Population. Aus dieser Ausgangslage ergeben sich drei Möglichkeiten der Entwicklung. Die eine Annahme geht davon aus, daß sich bei mehr als sechs Milliarden Menschen in Zukunft nicht mehr sehr viel ereignen werde, weil sich die Großpopulation der Art Mensch doch weitgehend panmiktisch verhält. Hinreichender Genfluß verhindert, daß es zu weiteren Differenzierungen kommt. Der *Status quo* würde weitestgehend aufrechterhalten bleiben. Die zweite Möglichkeit ist, daß sich die Mischung noch verstärkt und eine Konvergenz von Merkmalen stattfindet, die der vorhandenen Divergenz entgegenwirkt. Die dritte Variante setzt auf eine Verstärkung der Divergenz durch Mechanismen, die ebenfalls bekannt sind (z. B. selektive Auswahl der Fortpflanzungspartner). Die großen Mischpopulationen der letzten Jahrhunderte haben nämlich bisher keineswegs phänotypisch und kulturell ein einheitliches Bild erzeugt. Nach wie vor sind die Ausgangspopulationen nach Herkunft und Kultur zu differenzieren.

Das Verhältnis von biologischer und kultureller Evolution charakterisierte REICHHOLF durch verschiedene Merkmale. Die biologische Evolution bedient sich zur Informationsübertragung (der Weitergabe mit Variation) der Genome. In der kulturellen Evolution entsprechen ihnen gewissermaßen temporäre (und nicht fixierte) biologische Speicher, nämlich die Gehirne bzw. deren Produkte. Evolutionsbiologen gehen meist davon aus, daß darwinsche Evolution Anpassung bedeutet. Darunter wird mehr oder minder automatisch Anpassung an die Umwelt verstanden. Offen bleibt, an welche Umwelt, denn erst im Ergebnis des Evolutionsprozesses wird Umweltwirkung sichtbar. Kennzeichen der zeitlichen Folge der Evolution ist es jedoch, daß sich die Organismen immer stärker von der Umwelt emanzipiert haben, also immer autonomer geworden sind. Daher meinte REICHHOLF, in der weiteren Verselbständigung der Information im kulturellen Bereich prinzipiell denselben evolutionären Ablauf wie auf der biologischen Seite erkennen zu können. Die biologische Evolution ist beeinflussbar, z. B. durch Gentechnologie. Ängste und Befürchtungen, die damit verbunden sind, haben in der Gesellschaft teilweise zu besonderen Formen des Widerstandes geführt, z. B. zu einer Art Renaissance von Religionen. Nach Ansicht von REICHHOLF spielen solche Möglichkeiten einer gentechnischen Veränderung des Menschen quantitativ jedoch keine Rolle. Es besteht keine Gefahr, daß auf gentechnischem Wege die Evolution des Menschen nachhaltig beeinflusst werden könnte.

Völlig anders liegen die Verhältnisse allerdings bei der Beeinflussung der Umwelt. Hier wurden durch Züchtungen von Nutzpflanzen und Nutztieren, aber auch durch den Einsatz von

Medikamenten mit Auswirkungen auf Bakterien und Viren große Einflußmöglichkeiten eröffnet. Für REICHHOLF lagen in diesem Bereich sowohl die größten Chancen, aber auch Risiken. Hinzu kommt, daß vom Menschen verursachte Umweltveränderungen zum Aussterben vieler Arten führen und damit eine große Vielfalt an biologischer Information für die Evolution verlorengeht.

Der Humangenetiker Claus R. BARTRAM versuchte, die Thematik aus einem Blickwinkel zu betrachten, der von seinen Erfahrungen im Alltag als Arzt und den dabei zu berücksichtigenden viel kleineren Zeiträumen der Lebensgeschichte eines Patienten und seiner Familie ausging. Die Evolution bemesse sich nach riesigen Zeitkategorien, die uns weniger vertraut seien. Dennoch sei es bemerkenswert, daß die Menschen seit dem Exodus aus Afrika trotz der zahlreichen kulturellen Fortschritte noch immer der „alte Adam“ und die „alte Eva“ geblieben seien, denke man etwa an die grausamen Kriegsverbrechen, die von altersher bis in die Gegenwart verübt werden. Während die biologische Evolution nach Ansicht BARTRAMS bestimmte Entwicklungsstufen in ihrem Verlauf sichere, bleiben die Resultate der kulturellen Evolution fragil und müssen individuell immer wieder neu erworben werden.

In einigen Fällen könne man die Auswirkungen evolutionärer Prozesse beim Menschen nachvollziehen. So lassen sich einzelne rezessive genetische Erkrankungen auf Genmutationen zurückführen, die vor einigen hunderttausend Jahren entstanden sind und sich durch Selektionsvorteile für heterozygote Überträger in den betroffenen Populationen ausbreiten konnten. Heute sind, dank der Fortschritte der Medizin, solche Selektionsvorteile oftmals aufgehoben. Prävention und Therapie werden unabhängig vom Genotyp betrieben, soweit es die ökonomischen Ressourcen zulassen. Die ethisch ohnehin fragwürdigen Vorstellungen der Eugenik beruhen dagegen auf einem Denkfehler. Sie fokussieren auf die Patienten mit Erbkrankheiten und betrachten sie als Gefährdung des Genpools der Population. Allerdings sind die heterozygoten, klinisch gesunden Überträger solcher Krankheiten in der Population sehr viel häufiger und beeinflussen den Genpool nachhaltiger. Da alle Menschen (heterozygote) Träger mehrerer Gendefekte sind, werden Erbkrankheiten immer zu menschlichem Leben gehören. Es sei denn, man hinderte die Heterozygoten, also uns alle, an der Fortpflanzung.

Oft erheblich überschätzt wird die Zunahme von Erbkrankheiten in der Bevölkerung als Konsequenz jener an sich erfreulichen Tatsache, daß die Fortschritte der Medizin auch solchen Patienten ein weitgehend normales Leben, inklusive Familienplanung, erlauben, die früher unbehandelt verstarben oder schwer beeinträchtigt auf Fortpflanzung verzichten mußten. Dagegen bereiten Veränderungen im Lebensstil, auf die unsere genetische Konstitution nicht vorbereitet ist und die zu einer drastischen Zunahme der Fälle von Adipositas und Diabetes mellitus führen, weitaus größere Probleme. Dazu kommt mit der Erhöhung der Lebenserwartung der Bevölkerung eine Verschiebung im Spektrum der Erkrankungen zu Alterskrankheiten, wie der Alzheimer-Demenz oder Krebs.

Zur Zeit versucht die Wissenschaft, aus dem Vergleich des Genoms von Schimpanse und Mensch die wesentlichen Determinanten der Humanentwicklung abzulesen. Hier haben sich interessante Hinweise gewinnen lassen, etwa auf jene Prozesse, die für die Sprachentwicklung und für das Wachstum der Großhirnrinde wichtig waren. Neue Kenntnisse ergeben sich auch aus der Erforschung der Epigenetik, also der Beeinflussung der Aktivität genetischer Prozesse durch Modifikation der DNA mittels Methylierung oder über Proteine durch Phosphorylierung. Alle diese Prozesse folgen eigenen, aufeinander abgestimmten Regeln, jedoch sind sie prinzipiell reversibel und durch Umweltfaktoren unmittelbar einflußbar. Die Untersuchung solcher Phänomene bei eineiigen Zwillingen zeigte, daß die damit verbundenen

Unterschiede im Genexpressionsprofil mit zunehmendem Alter anwachsen. Man spricht hier von epigenetischer Drift. Die Analyse solcher Störungen epigenetischer Prozesse spielt in der Medizin zunehmend eine Rolle. Es ist davon auszugehen, daß neben Mutationen vor allem epigenetische Regelkreise die Evolution wesentlich mitgestalten.

Im Interesse des einzelnen Menschen als Patienten greift die Medizin, z. B. als Reproduktionsmedizin, heute schon in entsprechende Prozesse ein. Von gezielten Eingriffen in die Keimbahn des Menschen müsse man aber, so BARTRAM, angesichts weitgehender Unkenntnis übergeordneter genetischer Regelkreise abraten. Therapieversuche jeder Art würden jedoch die Evolution kaum beeinflussen.

Der Zoologe Axel MEYER suchte den Ausgangspunkt seiner Ausführungen in seinen Arbeiten zur Biodiversität auf unserem Planeten. Der Mensch sei eben nur eine unter den vielleicht 10 Millionen Arten auf unserer Erde. Er habe aber bereits in der kurzen Zeit, die ihm zur Verfügung stand, einen bedeutenden negativen Einfluß auf die Evolution ausgeübt. Als Stichworte nannte MEYER: Umweltverschmutzung, Klimaerwärmung, Einführung von Arten in neue Habitate. MEYER berichtete, daß er in den 1980er Jahren als Doktorand in Nikaragua beobachten konnte, wie eine dort neueingeführte Art die ursprünglich vorkommenden verdrängte. Ein weiteres Beispiel MEYERS beschäftigte sich mit der Einführung des Nilbarschs in den 1950er Jahren in den Viktoriasee, in dem 500 Buntbarscharten endemisch waren. Während die Nilbarschpopulation bis in die 1970er Jahre stark anwuchs, nahmen Diversität und Verbreitung der 500 Buntbarscharten deutlich ab. Hinzu kam, daß für die etwa 20 Millionen Menschen im Umfeld des Viktoriasees die kleinen Buntbarscharten die Hauptproteinquelle bildeten. Die kleinen Buntbarsche konnten am Seeufer getrocknet werden, ohne daß sie verfaulten. Für die viel größeren Nilbarsche war die Trocknung nicht möglich, sie mußten vor dem Verkauf eingefroren bzw. konserviert werden. Die zur Konservierung erforderlichen Maßnahmen verursachten eine Zunahme der Abholzung der Wälder rund um den Viktoriasee. Das führte zu verstärkten Erosionen und zur Eutrophierung des Sees, so daß seine Wassertrübe erheblich anwuchs. Nach den Untersuchungen von MEYER begannen die Buntbarsche nun, „Fehler zu machen“. Die Abnahme der Wasserklarheit führte dazu, daß die Weibchen nicht mehr die entsprechenden Farbmerkmale der Männchen wahrnahmen und sich mit den Männchen einer falschen Art paarten. Weitere ökologische Probleme kamen hinzu, so daß in den letzten 20 Jahren allein im Viktoriasee ungefähr 300 Fischarten durch den Einfluß des Menschen ausstarben oder in ihrem Bestand stark bedroht wurden. Diese Prozesse schienen MEYER wesentlich bedeutsamer als die Gefahren genetischer Manipulationen am Menschen. In bezug auf den Menschen waren ihm dann unvorhersehbare Einflüsse, etwa Pandemien, wichtiger. Jedoch meinte er, daß der Haupteinfluß des Menschen auf die Evolution nicht die Evolution des Menschen selbst, sondern umfassender die Evolution der anderen Tier- und Pflanzenarten auf unserem Planeten betreffe.

Das Interessengebiet des Zoologen und Ökologen Paul SCHMID-HEMPEL ist die Mikroevolution, d. h. die Veränderung innerhalb von Populationen. Besonders beschäftigt ihn die Frage nach der Adaptation, also dem Anpassungswert von Merkmalen, indem er untersucht, was ein Merkmal zum Überleben und zu den Reproduktionschancen seines Trägers beisteuern kann. Daß der Mensch die Evolution beeinflusst, erschien SCHMID-HEMPEL selbstverständlich. Der Mensch beeinflusse aber nicht nur die Evolution der eigenen Art, sondern auch die vieler anderer Arten auf unserem Planeten. Der Evolutionsbiologie fällt die Aufgabe zu, die historische Dokumentation des Evolutionsgeschehens zu übernehmen. Die Linie in der Evolution, die nach der Abspaltung des Schimpansen zum Menschen führt, stellt an sich nichts Besonderes

dar. Man könnte auch eine andere Entwicklungslinie verfolgen, man käme nicht zu wesentlich anderen Zusammenhängen. Dennoch schien es SCHMID-HEMPEL auffällig, daß jene Linie zum Menschen sehr artenreich war. In seiner Sicht sollten bei der Entstehung des Menschen Phänomene, die zu Speziationseignissen führen, eine besondere Rolle spielen. SCHMID-HEMPEL betonte, daß man für viele Prozesse nur die Grundzüge kenne, jedoch bei Einzelheiten noch sehr viel Unklarheit herrsche. Das betreffe etwa das Aussterben ganz konkreter Organismengruppen. Die neuen molekularbiologischen Methoden erlauben der Evolutionsbiologie eine bessere Dokumentation des Evolutionsgeschehens. So kann man jetzt die Evolution bestimmter Gene verfolgen. Weniger wisse man hingegen noch immer darüber, was Gene im Einzelnen bewirken und welche Vorteile sie ihren Trägern gewähren können. In den letzten Jahren sind insbesondere Erkenntnisse über die Regulation der Genprodukte für bestimmte Betrachtungsweisen wichtig geworden. Das bedeute jedoch nicht, meinte SCHMID-HEMPEL, daß die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten der Evolutionstheorie damit außer Kraft gesetzt wären. Die neuen Resultate auf der Ebene der Molekularbiologie müssen mit den bekannten Gesetzen der Mikroevolution vereinbar sein. Daher ist es nach SCHMID-HEMPEL erforderlich, das gewonnene komplexere Bild in seinen Auswirkungen auf die Problemkreise Variation, Selektionsfaktoren, Populationsgenetik usw. zu betrachten. Besonders wichtig war ihm die Frage nach der selektiven Umwelt. Bei der Menschwerdung spielte wohl vor allem die Verwandtenselektion (*Kin selection*) eine große Rolle. Die Rekonstruktion der Selektionsfaktoren erweise sich allerdings als schwierig, doch käme vor allem der Exponiertheit gegenüber Krankheitserregern und parasitenübertragbaren Krankheiten eine große Bedeutung zu. Initiationsriten für bestimmte Gemeinschaften könnten möglicherweise ursprünglich mit einer Prüfung auf Krankheit bzw. Gesundheit des in die Gemeinschaft Eintretenden zu tun haben. Einen weiteren Akzent setzte SCHMID-HEMPEL bei der Frage der sexuellen Selektion, indem er z. B. über Zusammenhänge von Gehirnvolumen und Größe des Geburtskanals sowie die unterschiedlichen biologischen „Interessen“ der Geschlechter sprach. Die Entwicklung des biologischen Erbes des Menschen muß mit jenen Prozessen kompatibel sein, die aus der Tier- und Pflanzenwelt bekannt sind. Dabei werde die Epigenetik seiner Ansicht nach zur Zeit etwas überbetont, obwohl sie die Darwinschen Gesetze doch keineswegs aushebeln könne. Mit einem deutlichen „Ja“ beantwortete SCHMID-HEMPEL auch die Frage, ob die kulturelle Evolution die biologische beeinflusse. Man könne das u. a. am Umgang mit Krankheiten, aber auch beim Problem der sexuellen Selektion sehr deutlich erkennen.

Der Philosoph Gereon WOLTERS eröffnete seine Ausführungen mit dem Statement, Philosophen hätten natürlich zur Sache nichts zu sagen, sondern nur darüber, was andere zur Sache sagen würden. Ihm gefalle allerdings bereits der Begriff „kulturelle Evolution“ nicht. Das Wort Evolution sei im kulturellen Bereich eine Metapher, und der Gebrauch von Metaphern bemesse sich nach deren Zweckmäßigkeit. Der kulturelle Entwicklungsprozeß verlaufe in entscheidender Hinsicht anders als der natürliche. WOLTERS schlug daher vor, nicht mehr von „kultureller Evolution“, sondern „Kulturgeschichte“ oder „kultureller Entwicklung“ zu sprechen. Die Verwendung des Begriffs „kulturelle Evolution“ bringe in der Kulturtheorie keinen Erkenntnisgewinn.

WOLTERS betonte, daß er nicht gegen die evolutionäre Betrachtung des Menschen argumentieren wolle, er wünschte diese jedoch auf den Rahmen zu begrenzen, in dem sie etwas zu sagen habe und über reine Vermutungen hinausgelangen könne, weil sie durch empirische Daten gestützt werde. Untersuchungen zur Entwicklung der Kultur in evolutionstheoretischer Perspektive könnten immer nur funktionale Analysen sein. Betrachte man etwa die Unter-

suchungen aus evolutionstheoretischer Perspektive zur Religion, dann werde dort – nach Ansicht von WOLTERS – nur eine funktionale Definition von Religion gegeben, die besagt, wozu Religion gut ist. Evolutionstheoretische Untersuchungen über kulturelle Phänomene können daher aus dem Blickwinkel von WOLTERS nur aussagen, daß diese kulturellen Phänomene eben zu irgend etwas gut sind. Damit verfehlen die Betrachtungen in den allermeisten Fällen aber gerade die interessanteren Aspekte dieser Phänomene. Der Gläubige könne sich in einer funktionalen Definition von Religion nicht wiederfinden, da die ganze Dimension des Heiligen, der Verehrung und des Gebets aus der Religion herausfalle.

Ein dritter Punkt der Ausführungen von WOLTERS betraf die intentionale Beeinflussung der Evolution des Menschen durch den Menschen, die er mit dem Wort „Eugenik“ kennzeichnete. Unter Eugenik versteht man die züchterische Beeinflussung des genetischen Bestandes zukünftiger Generationen. Positive Eugenik bezeichnet die Förderung bestimmter Merkmale in zukünftigen Generationen, während negative Eugenik deren Eliminierung beabsichtigt. Forderungen nach Eliminierung entsprechender Merkmale fußen auf staatlichen Anreizen oder Zwangsmaßnahmen, z. B. Sterilisation. Diese Zugänge liegen in Europa historisch noch nicht lange zurück. Francis GALTON, ein Vetter DARWINS, war der Begründer der modernen Eugenik. Die „alte Eugenik“ geht bereits auf PLATON zurück. WOLTERS sagte, GALTON habe seine eugenischen Vorstellungen zu unrecht mit der Darwinschen Theorie in Verbindung gebracht und eine bis in die Details reichende Eugenikkonzeption für das Vereinigte Königreich ausgearbeitet. Die Selektionskriterien der Galtonschen Konzeption spiegelten allerdings nur die Wertvorstellungen der damals herrschenden Klasse seines Landes wider. Das Beispiel GALTONS verweise, so WOLTERS, auf die politisch und moralisch nie akzeptabel zu beantwortenden Fragen, wer mit welcher Legitimation und mit welchen Methoden welche Eigenschaften des Menschen bestimme, die in seiner weiteren Evolution realisiert bzw. nicht realisiert werden sollten. Diese Kernfragen sind aus WOLTERS Sicht in einem rationalen, demokratischen und philosophisch akzeptablen Sinne nicht zu beantworten. Der Ansatz wird jedoch in der neueren Geschichte der Biologie von einigen Soziobiologen weitergeführt, die mit evolutionsbiologischen Argumenten für Abtreibung aus genetischen Gründen bzw. für die Tötung von Neugeborenen mit genetischen Schäden votieren. Sie übersehen dabei, daß Naturwissenschaftler aus ihren Forschungen heraus nur deskriptiv Tatsachen feststellen, nicht aber Normen begründen können. Es handelt sich daher um ein Beispiel für einen Verstoß gegen die logische Grammatik in Form eines naturalistischen Fehlschlusses.

Die fortgeschrittene Zeit erlaubte nur noch eine kurze Diskussion der Ausführungen. Zunächst wurde insbesondere in Zusammenhang mit Fragen der Eugenik die Erweiterung der Fragestellung auf die gesellschaftliche Dimension von Macht angemahnt. Andere Fragen bezogen sich auf experimentelle Belege für epigenetische Phänomene. In einigen Ausführungen wurde der von WOLTERS hinterfragte Begriff „kulturelle Evolution“ verteidigt und insbesondere im Hinblick auf die Entwicklung von Werkzeugen und Kleidung konkretisiert. Vor allem wurde betont, daß an der Frage nach dem Einfluß der kulturellen Evolution, in Form von Traditionsbildung, auf die biologische Evolution festzuhalten sei. Andere schlossen sich jedoch der Kritik an, um geistige Phänomene, etwa in der Kunst, deutlich abzugrenzen.

Die Diskussion um den Begriff „Neodarwinismus“ wurde im Zusammenhang mit neuen empirischen Befunden zum Evolutionsprozeß geführt. In diesem Kontext wurde auf die Bedeutung der „springenden Gene“, die seit den Forschungen von Barbara MCCLINTOCK bekannt sind, für das Gebäude der modernen Evolutionstheorie hingewiesen. Auch wurde der Vergleich von Menschen- und Schimpansen genom aufgegriffen. Die hohe Übereinstimmung in

der Gensequenz bedeute immer noch eine große Anzahl von Unterschieden. Bemerkenswerterweise seien diese aber häufig auf Bereiche bezogen, die nicht für Proteine kodieren. Sie liegen eher in regulatorischen Elementen, also den genetischen Einheiten, die das An- und Ausschalten von Genen beeinflussen. Außerdem wurden die wichtigen Mechanismen von Gen- und Genomduplikation in ihrer Bedeutung für die Evolution angesprochen. Die verdoppelten Gene können neue Funktionen übernehmen, und mit Genomduplikationen sind möglicherweise entscheidende Schritte in der Evolution verbunden. Es wurde die Auffassung vertreten, daß Evolution wahrscheinlich nicht so graduell stattfindet, wie es noch vor einigen Jahren vermutet worden war. Vielmehr spielen Umorganisation und Rearrangements von genetischem Material eine größere Rolle.

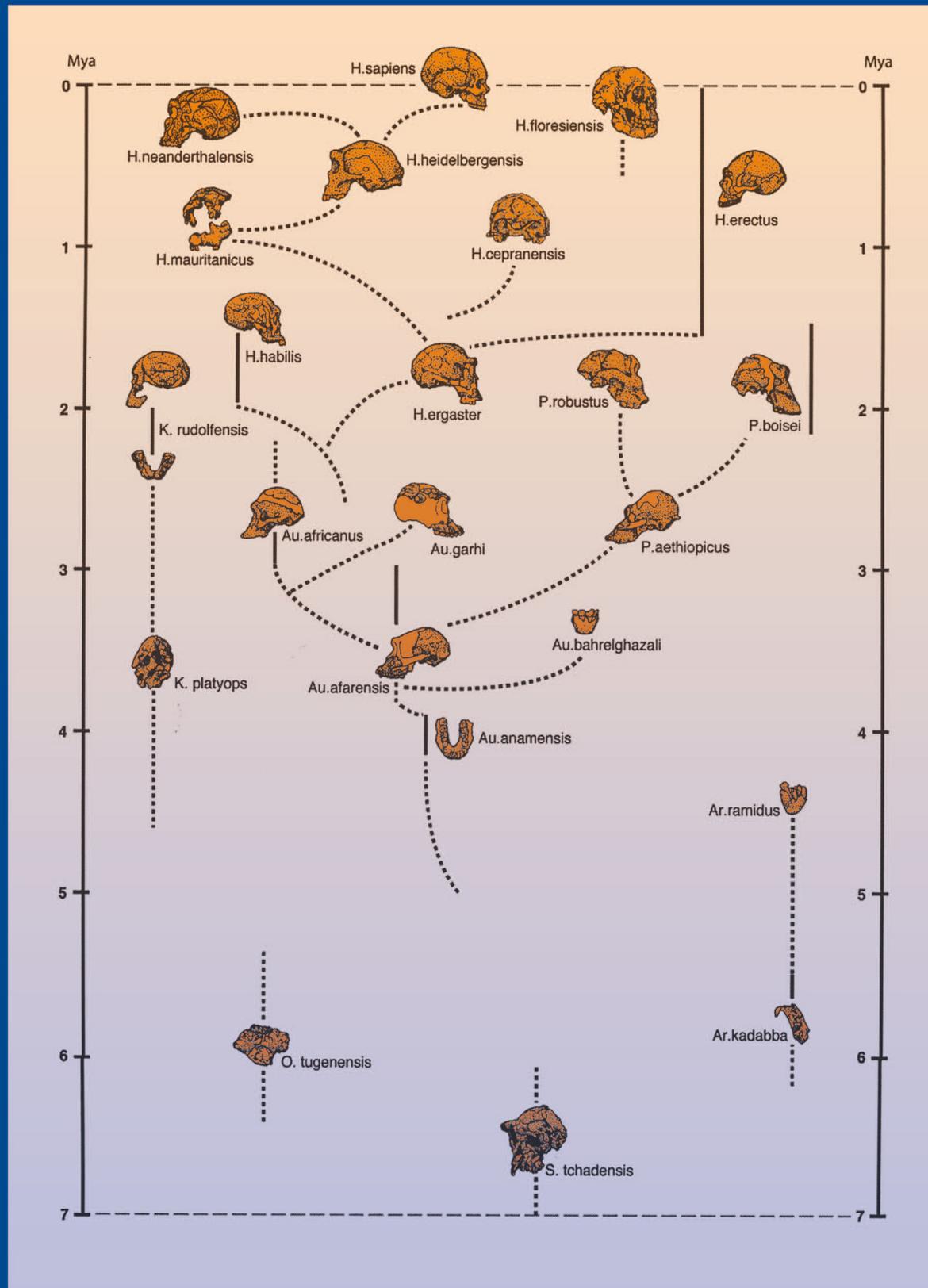
Abschließend wurde nochmals der Einfluß des Menschen auf die Evolution durch die Züchtung von Nutztieren und Nutzpflanzen angesprochen. Es wurde hinterfragt, ob diese Vorgänge als Modell dienen können und ob damit nicht auch ein positiverer Einfluß des Menschen auf die Evolution seiner Mitwelt zu konstatieren ist, als die Problemsichten der Eingangsreferate zunächst erkennen ließen.

Für Moderator MENZEL blieb auch im Schlußwort die entscheidende Frage, ob der Mensch durch seine kulturelle Evolution, also eine aus Gehirntätigkeit und Traditionsbildung sich ergebende Form von Entwicklung, Einfluß auf die zukünftige Evolution nehmen könne. Voraussagen erweisen sich, trotz unseres umfangreichen gegenwärtigen und weiter wachsenden Wissens in der Evolutionsbiologie, noch immer als schwierig, lautete das Fazit.

Dr. Michael KAASCH
Dr. Joachim KAASCH
Redaktion Nova Acta Leopoldina
Postfach 11 05 43
06019 Halle (Saale)
Bundesrepublik Deutschland
Tel.: +49 345 4723934
Fax: +49 345 4723939
E-Mail: kaasch@leopoldina-halle.de

Schema zur Entwicklung der Homi-
niden aus dem Beitrag von Ian TATTER-
SALL S. 145:

Die Entwicklung des Menschen stellt
sich als eine höchst seltene Innovation
dar. Das Auftreten wichtiger Neuerungen
in Verhaltensweise und Physis
des Menschen erfolgte ohne zeitliche
Koordination und relativ selten. Da-
zwischen lagen ausgedehnte Phasen
ohne erkennbare Weiterentwicklung.
Im Rahmen des phylogenetischen
Gesamtbildes belegt der Fossilbericht
eindeutig, daß die Entwicklung der
Familie der Hominiden ähnlich wie bei
allen anderen erfolgreichen und weit
verbreiteten Gruppen von Säugern ver-
lief, wobei klare Anzeichen für Diver-
sifizierung vorliegen. Die Entwicklung
der Hominiden verlief alles andere als
geradlinig, sie war eine ereignisreiche
Geschichte evolutionären Experimen-
tierens, mit dem ständigen Entstehen
neuer und dem Verschwinden beste-
hender Arten. Offenbar ist, so scheint
es, die Existenz von *Homo sapiens*
als weltweit einzigem Hominiden ein
ungewöhnliches und vermutlich bei-
spielloses Ereignis: etwas, das Bände
über die höchst ungewöhnliche Natur
unserer Art spricht.



ISSN: 0369-5034

ISBN-13: 978-3-8047-2370-2