IMPRESSUM

Herausgeber:
Studiengemeinschaft Wort und Wissen e.V.,
Rosenbergweg 29, D–72270 Baiersbronn,
Tel. (0 74 42) 8 10 06, Fax (0 74 42) 8 10 08
email: sg@wort-und-wissen.de

Redaktion:
Dr. Harald Binder, Konstanz
Dr. Martin Ernst, Kirchzarten
Dr. Reinhard Junker, Baiersbronn

Korrespondenzadresse:
Dr. Reinhard Junker, Rosenbergweg 29,
D–72270 Baiersbronn

Graphik/Design:
Regine Tholen AGD, Langgöns

Druck und Bindung:
Dönges Druck und Medien, Dillenburg

Erscheinungsweise und Bezugsbedingungen:
Die Zeitschrift erscheint zweimal jährlich. Jahresbezugspreis € 15,00; für Studenten € 10,00; Preise **inkl.** Versandkosten und MwSt. Auslandspreise auf Anfrage. Einzelhefte: € 8,50 (inkl. Versandkosten). **Bestellungen** richten Sie an den Herausgeber. Das Abonnement kann zum Jahresende gekündigt werden. Die Kündigung muß schriftlich erfolgen.

Alle Rechte vorbehalten.

Die Verantwortung für den Inhalt tragen die jeweiligen Autoren. Der Herausgeber und die Redaktion identifizieren sich nicht zwangsläufig mit allen Details der Darlegungen.

Titelbild: Flügel verschiedener Fruchtfliegen-Arten. Die Färbungen spielen bei der Brautwerbung der Männchen eine wichtige Rolle: Sie präsentieren ihre Flügel den Weibchen. Es hat sich herausgestellt, dass kleine genetische Änderungen in den Regulationsbereichen eines farbgebenden Gens für diese Vielfalt verantwortlich sind. (© Nicolas Gompel, Abdruck mit freundlicher Genehmigung)

ISSN 0948-6135

STUDIUM INTEGRALE journal

14. Jahrgang/Heft 1 – April 2007

INHALT

P. v. d. Veen Inschriften datieren die Eisenzeit. Neue Schritte in der Biblischen Archäologie belegen die Zuverlässigkeit der biblischen Autoren ____ 3

M. Stephan Langzeitproblem: Entstehung eines Salzbergs im Iran. Aufstieg des Kuh-e-Namak trotz ausgedehnter Regenperioden? ____ 12

N. Winkler Fleckige Flügel für Fruchtfliegen. Evolution komplexer Eigenschaften: veränderte Regulation oder echter Neuerwerb? ____ 20

Kurzbeiträge

M. Stephan Dinosaurier-Fund unerwartet ohne Federn ____ 26

R. Junker „Grundtypstudie“ von Stephen Jay Gould ____ 28

N. Winkler Ameisen – neue Überraschungen (Teil 3) ____ 30

S. Hartwig-Scherer (Nichts) Neues von „Lucys“ Großfamilie. Lucys „Baby-Oma“ bestätigt menschenaffenartigen Körperbau ____ 33

S. Hartwig-Scherer Hickhack um den „Hobbit“ ____ 35

P. Korevaar Woher stammen kurzperiodische Kometen? Messungen der Raumsonde „Stardust“ passen nicht in Entstehungstheorie ____ 38

H. Binder Ein einfacher Zugang zum Leben? ____ 40

H. Binder Entstehung des Lebens – Alternative Modelle in Frage gestellt ____ 43

Streiflichter

Supernovaüberreste: Alter um 80% reduziert ____ 45

Wie sicher sind Standardkerzen zur Entfernungsmessung im Kosmos? Der Ausreißer: Die Supernova 2003fg

Zellkernhaltige Zellen älter als gedacht ____ 47

Sind die ältesten Tierfossilien „nur“ Bakterien? Neues Szenario zur Entstehung der Insekten ____ 48

Früher Gleiter „Modernes“ Neunauge aus dem Devon ____ 49

Schnelle Anpassung bei Miesmuscheln ____ 50

Groß oder klein Nervige Konvergenz ____ 51

EDITORIAL

Viele Theologen halten die Historizität besonders der früheren biblischen Geschichte (Patriarchen und Landnahme Israels, Großreich Salomos) für wenig glaubhaft. Oft, so wird behauptet, sind solche Überlieferungen erst sehr viel später entstanden und enthalten allenfalls noch schwache Erinnerungen an frühere Ereignisse. Darüber hinaus wird oft angenommen, die Geschichten seien theologisch stark aufgebauscht worden, so dass die Darstellung nur noch wenig mit der ursprünglichen Überlieferung zu tun habe.

Diese seit vielen Jahren in der Bibelwissenschaft vertretene Lehrmeinung hat in den letzten 20-30 Jahren erhebliche Unterstützung aus der „biblischen" Archäologie erhalten (z.B. I. Finkelstein & N. A. Silberman, *Keine Posaunen vor Jericho*, 2002). Die Archäologen behaupteten zunehmend, ihr Funde widersprächen dem Alten Testament in vieler Hinsicht. Aber nicht alle Gelehrten teilen diese Meinung. So appellierte der bekannte Ägyptologe Prof. Kenneth Kitchen in seinem Buch *On the Reliability of the Old Testament* 2003 an die Fachwelt, die Schreiber und Schriften des Alten Testaments doch fairer zu behandeln und sie im Licht unabhängiger Daten aus der Archäologie zu betrachten.

Eine direkte chronologische Zuweisung von materiellen Überresten in der weitgehend stummen Archäologie der südlichen Levante bleibt allerdings schwierig, da die nötigen „im Kontext" gefundenen Inschriften weitgehend fehlen. So besitzen wir z. B. keine Bauinschriften, die endgültig belegen würden, dass die Salomo zugeschriebenen Bauten in Megiddo und Hazor tatsächlich auf diesen König zurückgehen. Obwohl die überragende Bedeutung der *in situ* (an Ort und Stelle) entdeckten Inschriften für die Etablierung einer zuverlässigen Chronologie seit den Anfängen der „biblischen Archäologie" im 19. Jahrhundert bekannt ist, wurde ihre *Notwendigkeit* sehr oft ignoriert. Geprägt von Willkür und Voreingenommenheit haben Gelehrte mehrfach die stummen Zeugen der Archäologie *für* oder *gegen* das Alte Testament verwendet.

Peter van der Veen zeigt in seinem Beitrag, wie neue systematische Studien der ausgegrabenen Inschriften am Ende der Eisenzeit in Israel und Jordanien (ca. 650-550 v. Chr.) helfen können, Willkür und Voreingenommenheit in der Forschung zu überwinden. Denn diese Funde erlauben nicht nur eine vergleichsweise sichere chronologische Zuordnung, sondern zeigen auch, wie präzise und zuverlässig die biblischen Autoren ihre eigene Welt beschrieben haben. Eine breit angelegte Studie aller Inschriften (auch die der früheren Epochen) dürfte neues Licht auf die Geschichte des alten Israel werfen.

In einem geomorphologischen Beitrag diskutiert Manfred Stephan eine Diskrepanz zwischen den üblichen Zeitvorstellungen des Quartärs und reliefgeschichtlichen Beobachtungen an einem Salzberg im Iran. Dessen Existenz kann am ehesten erklärt werden, wenn die Dauer der Pluvialzeiten (Feuchtzeiten) des Quartärs um mehrere Zehnerpotenzen reduziert wird. Bemerkenswerterweise deutet sich damit eine zeitliche Größenordnung an, zu der Michael Brandt in seinem vor Jahresfrist veröffentlichten Buch „Wie alt ist die Menschheit?" (Holzgerlingen, 2006) aufgrund ganz anderer, unabhängiger Indizien gelangt. Für eine Hinterfragung geologischer Zeitvorstellungen gibt es durchaus empirische Anhaltspunkte.

Immer wieder in Bewegung ist die Diskussion in der Paläanthropologie. Der sehr gut erhaltene Neufund eines *Australopithecus* – also die Gattung, die von vielen Forschern nach wie vor als Übergangsform zwischen affenartigen Vorläufern und Menschen betrachtet wird – zeigt deutliche Merkmale eines menschenaffenähnlichen Körperbaus mit Klettermerkmalen. Damit wird die schon früher geäußerte Kritik an der Übergangsstellung von *Australopithecus* bestätigt. Sigrid Hartwig-Scherer erläutert die Einzelheiten. In einem weiteren Artikel schildert sie den neu entbrannten Streit um den 2003 auf der Insel Flores (Indonesien) entdeckten sensationellen Fund des sogenannten „Hobbit"-Menschen, einer menschlichen Zwergenform. Die Meinungen über die Natur dieser Fossilien werden mit jeder neuen Publikation kontroverser. Das zeigt beispielhaft, wie groß die Deutungsspielräume bei Fossilfunden sein können. Ein Ende des Streits ist nicht in Sicht.

Der dritte Teil der Artikelserie über Ameisen regt zum Staunen über die vielseitigen Fähigkeiten dieser formenreichen Insektengruppe an. Auch wenn es dafür keinen naturwissenschaftlichen Beweis geben kann: Von selbst, d.h. innerhalb des naturgesetzlichen Rahmens, scheint die Entstehung dieser Fähigkeiten aus einfacher strukturierten Vorläufern nicht erklärbar zu sein.

Ihre Redaktion Studium Integrale journal

Inschriften datieren die Eisenzeit

Neue Schritte in der Biblischen Archäologie belegen die Zuverlässigkeit der biblischen Autoren

Peter van der Veen, Reinhardstr. 31, D-73614 Schorndorf

Zusammenfassung: **Um archäologische Schichten zu datieren, ist die Archäologie auf Inschriften angewiesen, die in den aufeinanderfolgenden Fundschichten vorkommen. Solche „stratifizierten" Funde sind nicht nur äußerst selten im Bereich Syrien-Palästina, es wurde auch die Bedeutung der wenigen gefundenen Stücke in der Vergangenheit zu wenig erkannt und entsprechend wenig in diesem Bereich geforscht. In diesem Artikel wird erläutert, wie anhand einer grundlegenden Arbeit über datierbare Inschriften Klarheit in der Chronologie (vor allem der Eisenzeit im 1. Jt. v. Chr.) geschaffen werden kann und wie dies letztendlich zu einer sichereren Rekonstruktion der Geschichte des alten Israel führen könnte. Erst wenn die archäologischen Schichten korrekt datiert sind, ist es annähernd möglich, die biblischen Geschichten des Alten Testaments mit der Archäologie zu verbinden. Dieses Verfahren ist vielversprechend. So können z.B. Eigentümer von Siegeln und Tonbullen (bekannter Herkunft) am Ende der Eisenzeit tatsächlich mit bekannten Personen aus der Zeit des Propheten Jeremia gleichgesetzt werden. Die Archäologie zeigt uns auf diese Weise also, wie zuverlässig die biblischen Autoren Zusammenhänge ihrer Zeit beschrieben haben.**

Einleitung und Methodik

„Die Chronologie ist das Rückgrat der Geschichte" – eine oft gehörte Feststellung. Natürlich ist die Rekonstruktion der Geschichte der frühen Kulturen des Nahen Ostens (wie auch sonstwo in der Welt) in erster Linie auf die Archäologie angewiesen, aber ohne ein sinnvolles chronologisches Gerüst wäre wohl kaum eine nachvollziehbare historische Rekonstruktion möglich. Die vielen materiellen Überreste (Überreste von Wohnungen, Gehöften und Alltagsgegenständen wie Keramik, Werkzeugen, Waffen usw.) aus längst vergangenen Zeiten mögen ein faszinierendes Bild von der Lebensweise der damaligen Menschen abgeben. Aber wann sie so lebten und warum sie zu einer bestimmten Zeit so lebten und nicht zuletzt wer wann lebte, bleibt ohne handfeste Anhaltspunkte für eine zeitliche Einordnung in die Geschichte unklar. So beherbergen antike Ruinenhügel oder Tells oft viele Schichten übereinander. Die ersten Siedler bauten auf dem vorhandenen Felsboden. Nach einer gewissen Zeit verließen sie den Ort z.B. wegen Krieg, Hungersnot oder wirtschaftlicher Probleme. Ihre Häuser zerfielen bzw. wurden zerstört. Nach gewisser Zeit kehrten die früheren Bewohner zurück oder eine neue Sippe siedelte am alten Ruinenhügel. Die zerfallene Siedlung wurde wieder aufgebaut oder einfach eingeebnet, um Platz zu schaffen für ein neu zu errichtendes Dorf bzw. Städtchen. Somit entstand nun *oben auf* der alten Siedlung eine neue. Dieses Vorgehen wiederholte sich manchmal bis über hunderte oder sogar tausende von Jahren hinweg (Abb. 1).

Nun sind die übereinander liegenden Siedlungen oft nicht in schön voneinander getrennten Schichten erhalten geblieben. Vielmehr wurden alte, noch stehende Mauern in neuen Häusern wiederbenützt, Steine aus alten Mauern herausgebrochen und wiederverwendet (manchmal blieben nur noch Reste von alten Mauern stehen und ihr ursprünglicher Verlauf ist heute kaum noch zu erkennen). Mehrfach wurden Gruben (Abfallgruben, Zisternen usw.) in die Böden – durch frühere Schichten älterer Siedlungen hindurch – gegraben. Gegenstände wurden über längere Zeit in die Grube geworfen oder sind einfach hineingefallen. Obwohl sie aus einer späteren Zeit stammen, fielen sie auf den Boden der Grube und der befand sich auf gleicher horizontaler Ebene wie eine frühere Schicht einer älteren Siedlung (vgl. Abb. 2). Solche Gegenstände können also heute nichts über die zeitliche Einordnung der früheren Siedlung aussagen, sondern nur über die Zeit, wann sie in die Grube gefallen sind und wann ungefähr die spätere Grube ausgehoben wurde bzw. in Gebrauch war.

Bei einer modernen archäologischen Grabung ist es oft sehr schwierig, die verschiedenen Bewohnungsphasen und Siedlungsschichten voneinander zu trennen, es sei denn, die Stätte wurde immer wieder durch Feuer zerstört (im Krieg oder durch einen Großbrand). Dann sind klare Zerstörungsschichten zu erkennen, wodurch die alte (vorherige) Siedlung „sauber" zugedeckt worden war. Leider ist dies jedoch meistens nicht der Fall. Die Frage, wann und wie lange eine Siedlungsphase gedauert hat und wer wann die Stätte zerstörte, kann oft nicht einfach beantwortet werden, wenn keine klaren Anhaltspunkte in den Schichten gefunden

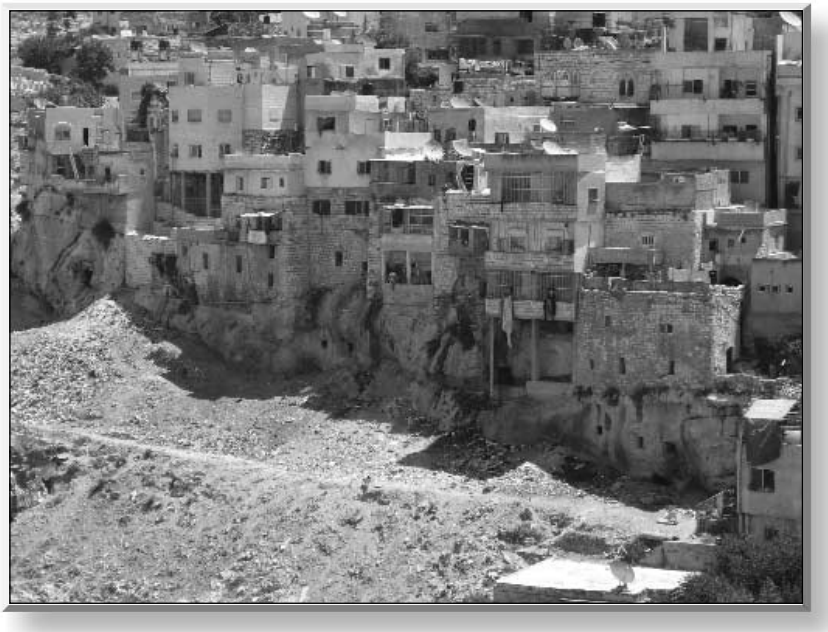


Abb. 1: Oben: Überreste der übereinander liegenden Siedlungen des arabischen Dorfes Silwan (Siloam) bei der Davidstadt in Jerusalem. Die Stätte wurde während Jahrtausenden bis heute besiedelt. Ganz unten befindet sich der meterdicke Schutt der langen Siedlungsgeschichte des noch bewohnten Tells. In den Felsen darüber befindet sich eine Grabanlage aus der judäischen Königszeit, die später von christlichen Mönchen bewohnt wurde. Darüber befinden sich mehrere Bauphasen des jüngeren arabischen Dorfes (Foto: Peter VAN DER VEEN). Unten: Profilwand des Grabungsareals D3 in Ramat Rachel (am Südwestrand von Jerusalem). Profilwände geben ein gutes Bild der Siedlungsgeschichte des Ruinenhügels wieder. Der weiße Boden markiert den eisenzeitlichen Fußboden des Palastes aus dem 7. Jh. v. Chr. (Foto: Johannes SCHWEINSBERG)

werden. Finden wir aber z.B. Keramik, die nur zu einer bestimmten Zeit in Gebrauch war, so kann diese dabei helfen, die Schicht etwas genauer chronologisch einzuordnen (wir sprechen dann von einer „relativen Chronologie“). Finden wir aber ausländische Keramik (z.B. aus der Ägäis oder aus Ägypten) und Kleinfunde (Figurinen, Schmuck), deren zeitliche Einordnung im Ursprungsland anhand von klar datierbaren Funden (wie Inschriften) möglich ist, so können wir die Datierung schon etwas genauer definieren. Besser noch: Finden wir Inschriften, die sich einwandfrei datieren lassen, weil sie Namen von Personen erwähnen, die anderweitig chronologisch fixiert wurden (z.B. Siegelamulette, Krughenkel mit Namen von bekannten Königen aus Ägypten oder Syrien-Palästina oder sogar aufs Jahr genau datierte Keilschrifttafeln), so ist eine präzise Datierung der Schichten möglich (wir sprechen dann von einer „absoluten Chronologie“). Solche Funde sind selten, aber wenn sie vorkommen, können sie äußerst wichtige Hinweise geben über die Zeit, von wann bis wann eine Siedlung bewohnt war.[1]

Für die Biblische Archäologie ist eine solche Vorgehensweise von sehr großer Bedeutung. Erst wenn wir in der Lage sind, die Schichten genauer zu datieren, wird es möglich sein, das richtige archäologische Umfeld für die einzelnen biblischen Geschichten zu finden. Ja, erst dann wird es überhaupt möglich sein, die Bibel mit der Archäologie zu verbinden.

Die Bedeutung der Inschriften

Bereits der Ägyptologe Sir William FLINDERS-PETRIE erkannte die Bedeutung von klar datierbaren Funden für die Chronologie der Schichten, als er 1890 vom Londoner Palestine Exploration Fund damit beauftragt wurde, die erste wissenschaftliche Grabung in Palästina durchzuführen. So fand er in den Schichten des Tell el-Hesi (26 km nordöstlich von Gaza) z.B. ägäische und zypriotische Keramik aus der Zeit des Neuen Reiches in Ägypten (1550-1070 v. Chr.). Kurz darauf entdeckte sein Mitarbeiter Frederic BLISS sogar eine Keilschrifttafel aus der Amarnazeit, aufgrund der eine ganze Stadtanlage (aus „Schicht 3“) auf das 14. Jh. v. Chr. datiert werden konnte, denn die „Amarnazeit“ des Pharaos Amenhotep III. und Echnaton schien damals bereits chronologisch gesichert.[2]

Ähnlich wie FLINDERS-PETRIE meinte auch der berühmte Archäologe William F. ALBRIGHT 1928 einen wichtigen chronologischen Angelpunkt für die späte Eisenzeit (um 600 v. Chr.) gefunden zu haben, als er auf Tell Beit-Mirsim (ca. 20 km südwestlich von Hebron) einen Krughenkel mit dem Abdruck des Siegels eines gewissen „Eljakim, Hausdiener des Jaukin“, entdeckte. Bald wurden Krughenkel mit dem gleichen Abdruck auch an anderen Stätten gefunden (AVIGAD & SASS 1997). ALBRIGHT erkannte im Namen Jaukin eine Kurzform für „Jojachin“, den König von Juda, der 597 v. Chr. von den Babyloniern in die Gefangenschaft nach Babylon verschleppt worden war (2Kön 24,8ff.). In der Südburg von Babylon hatte der bekannte deutsche Orientforscher Robert KOLDEWEY in den Anfangsjahren des 20. Jhs. sogar eine Keilschrifttafel gefunden, auf der König Jojachin von Juda im babylonischen Exil erwähnt wird. Dort heißt er *Ja-u-ki-nu*. Von anderen Siegeln wusste ALBRIGHT, dass der Vorgesetzte in der Formel „(Name),

Diener des (Namens)“ einen König bezeichnen musste (vgl. „Schema, Diener des (Königs) Jerobeam“ oder „Schebanjau, Diener des (Königs) Usijau“ usw.). Die chronologische Einordnung des Krughenkels schien daher perfekt, bis später bekannt wurde, dass die Formel „Name, Hausdiener des (Namens)“ nicht mit dem des königlichen Dieners (Ministers) vergleichbar ist und dass der Vorgesetzte hier nicht immer ein König sein muss (Avigad 1976; Garfinkel 1990). Jüngere Studien zur Eisenzeitkeramik wie auch die jahrelangen Ausgrabungen auf Tel Lachisch (die zweitwichtigste Stadt Judas) haben gezeigt, dass die Zerstörungshorizonte der letzten zwei eisenzeitlichen Perioden um ein Jahrhundert auseinander liegen müssen (Zimhoni 2004). Daher muss der Horizont des Jaukin-Krughenkels in Wirklichkeit auf die Zeit der assyrischen Eroberungen um 700 v. Chr. datiert werden. Jaukin kann also unmöglich mit König Jojachin um 600 v. Chr. identisch gewesen sein (Abb. 3).

Auch wenn es Albright nicht gelungen war, eine klare Verbindung zwischen den Krughenkeln und den späteisenzeitlichen Schichten in Israel herzustellen, hatte er richtig erkannt, dass Inschriften ein Schlüssel zur Datierung in der Archäologie sein können. Denn zu oft hatten bzw. haben Archäologen des 20. Jahrhunderts gemeint, sie könnten auch ohne solche Inschriften auskommen. Bereits die Archäologen des Chicago Oriental Instituts (1925-1939) waren der Auffassung, man könne ohne viel zu überlegen die früheisenzeitlichen Denkmäler auf Tell Megiddo (z.B. die 6-Kammer-Tor- und Palastanlagen und die Stallungen) allesamt dem großen Baumeister König Salomo zuweisen. Denn aus der Bibel wissen wir, dass Salomo in Megiddo im 10. Jh. v. Chr. gebaut hat (1Kön 9,15). Diese Überlegung mag zwar folgerichtig erscheinen, die Bibel sagt jedoch nichts über die archäologische Schicht aus, in der Salomos Bauwerke heute zu finden sind. Die früheisenzeitlichen Denkmäler in Megiddo (wie auch sonstwo in Israel) erwähnen ihren Bauherrn nicht. Man kann also nicht einfach folgern, dass Salomo sie errichten ließ. Und tatsächlich erkennen nicht alle Archäologen Salomo als ihren Baumeister an. Bereits die Archäologin Kathleen Kenyon, die zwischen 1933-1936 in Samaria (im zentralen Bergland auf der heutigen Westbank) ausgrub, betonte, dass vor allem die Keramik aus der frühesten Anlage auf Samaria dieselbe war, die auch in den „salomonischen“ Schichten auf anderen Tells vorkam. Nach dem biblischen Bericht war jedoch nicht Salomo, sondern König Omri der Bauherr der ersten Anlagen in Samaria gewesen. Dieser ließ ein Jahrhundert *nach* Salomo auf dem bisher unbesiedelten Hügel seine neue Hauptstadt errichten (1Kön 16,24) (vgl. Wightman 1990; James 1991). Waren die „salomonischen Bauten“ wirklich die des Königs Salomo oder eher die des späteren Königs Omri gewesen? Auch die Anhänger der „low chronology“ von der

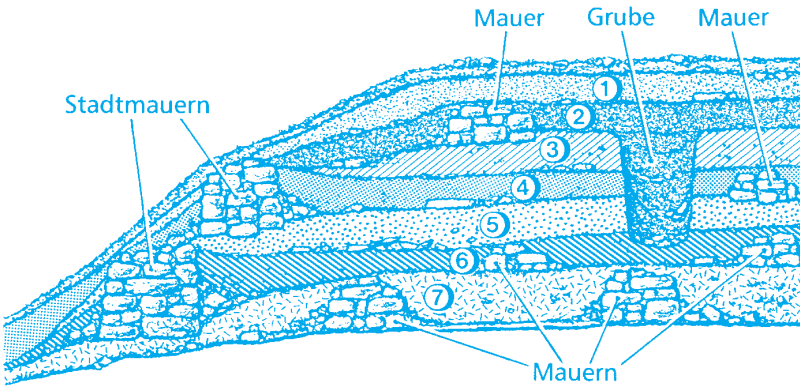


Abb. 2: Schnitt eines archäologischen Ruinenhügels (nach D. Vieweger 2003, Abb. 120, mit freundlicher Genehmigung von Herrn Brückelmann, Brüggen-Born).

israelischen Universität Tel Aviv datieren z. Zt. die „salomonischen Bauten“ auf Tell Megiddo (und auf Tel Hazor und Tel Gezer) auf die Zeit Omris (Finkelstein & Silberman 2002; 2006). Welche der beiden Theorien man auch vorziehen möchte, für beide gilt fairerweise bis heute immer noch, was George Wightman vor 15 Jahren lediglich über die vermeintlichen „salomonischen“ Bauten sagte:

„Über die letzten 60 Jahre hat es keine unabhängigen Funde an dem einen oder anderen Ort gegeben, die zweifellos klarstellen können, dass diese Bauwerke tatsächlich auch aus der Regierungszeit Salomos stammen.“ (Wightman 1990)

Denn es wurden weder Siegel noch beschriftete Scherben ausgegraben, die eine präzisere Datierung der Architektur erlaubt hätten. Dasselbe gilt im Grunde auch für die Ausgrabungen in Tel Lachisch. So hat David Ussishkin von der Universität Tel Aviv die Zerstörung des archäologischen Horizonts des oben erwähnten Jaukin-Krughenkels zwar auf die Zeit des Königs Hiskia und der assyrischen Eroberungen vom Jahre 701 v. Chr. datiert, dafür jedoch keine schriftlichen Beweise *in situ* (an Ort und Stelle) gefunden. Selbstverständlich eroberte der assyrische König Sanherib 701 die Stadt Lachisch und weitere Ortschaften Judas (wie Sanherib selbst in seinen Annalen und auf den Palastreliefs in Ninive stolz behauptet), aber ob Sanherib tatsächlich für den Untergang der Stadt aus Lachisch Schicht III oder des gesamten archäologischen Horizonts der „Jaukin-Krughenkel-Epoche“ (man spricht vom „Lachisch-Stratum-III-Hori-

Abb. 3: Krughenkel mit dem Stempelsiegel einer geflügelten Sonne (und der Inschrift „Gehört dem König (aus der Stadt) Hebron“) aus dem archäologischen Horizont des Jaukin-Krughenkels (Privatsammlung und Foto: Peter van der Veen).

Abb. 4: Siegel des „Schema, des Ministers von (König) Jerobeam (II.)" aus dem „salomonischen" Torbogen in Megiddo (Strichzeichnung: Peter VAN DER VEEN).

zont") verantwortlich war, wie oft behauptet wird, kann letztendlich nicht bewiesen werden.

Denn es gibt auch überlegenswerte Argumente gegen die Datierung dieses archäologischen Horizonts am Ende des 8. Jhs. v. Chr. Beispielsweise dürfte ausländische Keramik aus den Gebieten des Zweistromlands wie auch aus Südjordanien (aus dem Königreich der Edomiter), die in den Schichten dieser Epoche (vor allem im Gebiet an der Südgrenze Judas zur Negev-Wüste) ausgegraben wurde, aus der Zeit *nach* Sanheribs Eroberungen stammen und somit aus dem 7. Jh. v. Chr. datieren. Diese Keramik-Typen wurden nämlich in ihrer Heimat zusammen mit datierbaren Siegeln (z.B. einer Tonbulle eines bekannten Königs von Edom – siehe unten) und Keilschrifttafeln (z.B. in Ninive und Burg Salmanasser in Irak) gefunden, die ein Datum im 7. Jh. v. Chr. plausibler erscheinen lassen (vgl. VAN DER VEEN 2005b).

Dass die Chronologie der Schichten der Eisenzeit keineswegs feststeht, darauf dürften tatsächlich manche Schriftfunde hindeuten. So fand z.B. bereits der deutsche Archäologe Gottlieb SCHUMACHER während seiner Grabungen in Megiddo 1904 im Torborgen eines eisenzeitlichen Palastgebäudes (das oft auf ungefähr die Zeit des Königs Salomo im 10. Jh. v. Chr. datiert wird) das berühmte Siegel eines Ministers des israelitischen Königs Jerobeam (Abb. 4). Da die meisten Archäologen bisher diese „stummen" architektonischen Zeitzeugen der früheren Eisenzeit auf das 10. Jh. v. Chr. datiert haben (es gibt keine einschlägigen schriftlichen Beweise dafür, wer hier gebaut hat!), stellten manche Gelehrten (darunter auch David USSISHKIN) die Frage, ob es vielleicht möglich sei, das Siegel auf die Zeit des Königs *Jerobeams I.* (930-908 v. Chr.), Salomos Thronfolger im Nordreich Israels, zu datieren (USSISHKIN 1993). Dies jedoch, so meinten zurecht die meisten Siegelexperten, ist nicht möglich. Denn die Schriftform des Siegels und die darauf gezeigte Darstellung des brüllenden Löwen sind typisch für das 8. vorchristliche Jahrhundert. Tatsächlich regierte damals auch ein König über Israel mit dem gleichen Namen, nämlich *Jerobeam II.* (793-753 v. Chr.) (vgl. z.B. AVIGAD & SASS 1997). Wenn das Siegel tatsächlich aus der Zeit des Palasttorbogens stammt, so könnte dieses Siegel also vielleicht doch noch einen positiven Hinweis auf die Datierung der Toranlage liefern (VAN DER VEEN 2005b). Wenn das Siegel von einem Minister von Jerobeam II. und nicht von Jerobeam I. stammt, so kann die Anlage nicht bereits im 10. oder 9. Jh. zerstört worden sein (wie so oft behauptet wird), sondern muss noch während der ersten Hälfte des 8. Jhs. v. Chr., also mindestens 100 Jahre später als bisher angenommen, in Gebrauch gewesen sein.[3] Das Siegel würde also eine niedrigere Datierung der früheren Eisenzeit in Israel unterstützen (s. Tab. 1).

Ähnliche Hinweise für eine niedrigere Datierung liefert auch Benjamin SASS in seinem neuen Buch über die Inschriften am Anfang des 1. Jts. v. Chr. (SASS 2005). Besonders aussagekräftig für die Datierung der Schichten sind die Inschriften, die tatsächlich in einem klar definierten archäologischen Kontext ausgegraben wurden. Bei Ausgrabungen in einem Dorf namens Kfar Veradim (ca. 17 km nordöstlich von Akko) wurde 1995 ein Grab ausgehoben, dessen Keramikfunde eindeutig auf die Eisenzeit IIA-Periode (d.h. dieselbe Periode, aus der auch der genannte Torbogen aus Megiddo stammt!) schließen lassen. Unter den Grabbeigaben wurde auch eine bronzene Schale mit einer frühen phoenizischen Inschrift gefunden. Der Text war an der Unterseite, auf dem Standfuß der Schale, angebracht worden. Die Form der Inschrift ähnelt den Buchstaben des phönizischen Alphabets des 11.-10. Jhs. v. Chr.[4] Äußerst problematisch erscheint jedoch die bronzene Schale selbst. Ihre charakteristische Form mit ihrem rosettenartigen Aussehen lässt an eine neuassyrische Bronzeschale denken. Die frühesten Parallelen aus dem assyrischen Ursprungs-

Tab. 1: Datierung der archäologischen Epochen nach den gängigsten Chronologien (Spalte 2-3). Im Vergleich (Spalte 4) die von VAN DER VEEN 2006 vorgeschlagene kürzere Chronologie der Eisenzeit.

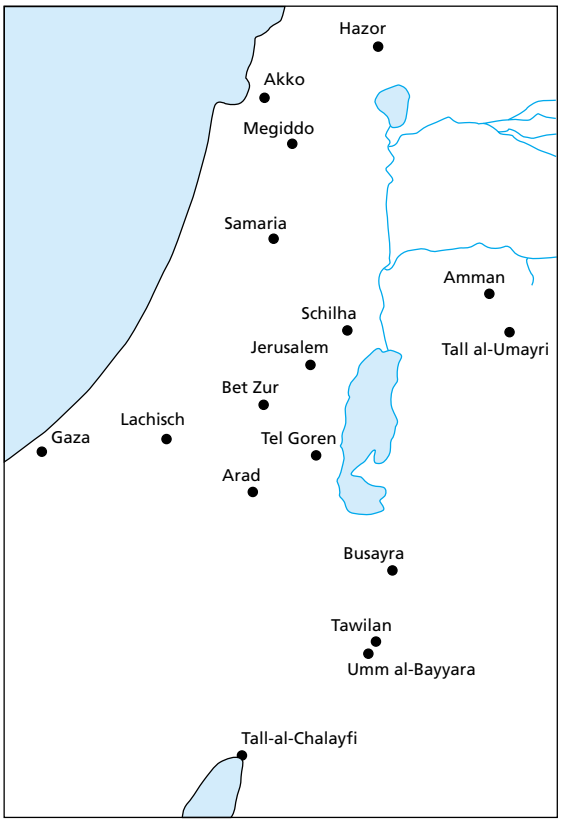
Archäologische Epoche	Traditionelle Chronologie	„Low Chronology" (Tel Aviv Universität)	Annähernde Chronologie (VAN DER VEEN 2006)
Eisenzeit IA+B	c. 1250-1000 v. Chr.	c. 1150-925/900 v. Chr.	c. 1050?-880/60 v. Chr.
Eisenzeit IIA	c. 1000-900 v. Chr.	c. 925/900-800 v. Chr.	c. 880/60-750 v. Chr.
Eisenzeit IIB	c. 900-700 v. Chr.	c. 800-700 v. Chr.	c. 750-670/50 v. Chr.
Eisenzeit IIC	c. 700-587 v. Chr.	c. 700-587 v. Chr.	c. 670/50-587/550 v. Chr.
„Eisenzeit III"	c. 587-530 v. Chr.	c. 587-530 v. Chr.	gleich
Perserzeit	c. 530-333 v. Chr.	c. 530-333 v. Chr.	gleich

land (im Nordirak) datieren aus dem 9. Jh. v. Chr. Da Assyrien erst nach mehreren Jahrhunderten im 9. Jh. wieder in der Lage war, über weite Teile Syriens (ab ca. 870 v. Chr.) zu regieren und erst ab ca. 840 v. Chr. auch Israel tributpflichtig machte, scheint ein Datum für die Bestattung in Kfar Veradim *vor* ca. 850 v. Chr. kaum wahrscheinlich und ist somit mit der späteren Datierung der zeitgenössischen („salomonischen") Schichten völlig kompatibel. Die Inschrift auf der Unterseite der Schale (deren Buchstaben bisher auf das 11.-10. Jh. v. Chr. datiert wurden), kann ebenfalls erst ab 850 v. Chr. entstanden sein und ist somit 100-200 Jahre jünger als bisher angenommen.

Ein groß angelegtes Forschungsprojekt

Selbstverständlich bräuchte man sehr viel mehr Schriftfunde, um die Datierung der Eisenzeitschichten genauer überprüfen zu können. Dafür wäre eine umfassende Studie aller im Kontext gefundenen Schriftfunde (Siegel, beschriftete Scherben und Gefäße, Stelen, Stelenfragmente usw.) notwendig. Viele Funde aus früheren Grabungen liegen noch in Museumsschubladen weggepackt und sind teilweise noch nie katalogisiert und beschrieben worden. Erst ein solches umfassendes Projekt würde genauere Aussagen ermoglichen. Man könnte auf diese Weise Willkür und Spekulation bei der Datierung eindämmen, um eine annähernd präzise Chronologie zu etablieren. Obwohl es vielleicht paradox erscheint, ist bisher auf diesem Gebiet sehr wenig getan worden. Zwar hat man Schriftfunde wie Stelen und beschriftete Tonscherben im Einzelnen sprachlich und Siegel bezüglich ihrer Schriftform und bildlichen Einzelheiten sehr ausführlich erforscht, eine umfassende Studie zu ihrer *chronologischen Bedeutung für die archäologische Datierung der Schichten* gab es bislang so jedoch noch nicht. Einen Anfang dazu habe ich in meiner Promotionsarbeit für die Universität Bristol über Siegel der Späteisenzeit in Israel und Jordanien gemacht (VAN DER VEEN 2005a und VAN DER VEEN in Vorb.).

Obwohl über die Jahre immer wieder späteisenzeitliche Siegel und zum Versiegeln von Papyri bedruckte Tonbullen (d.h. mit dem Abdruck des Siegels des Briefsenders versehen) in legalen Grabungen aufgetaucht waren und die meisten Stücke im Einzelnen erforscht und diskutiert worden waren, waren diese bisher noch nie auf ihre Bedeutung für die Chronologie in einer umfassenden Studie systematisch untersucht worden. In meiner Dissertation habe ich deshalb alle Amtsiegel aus dem 7.-6. Jh. v. Chr. aus Israel und Jordanien systematisch unter die Lupe genommen. Auf der Suche nach Siegeln und Tonbullen von Personen, die aus der Bibel oder anderen Dokumenten bekannt sind, war es wichtig, herauszufinden, unter welchen



Die wichtigsten im Artikel erwähnten Ortschaften in Israel und Jordanien.

Fundumständen sie ans Licht gekommen waren. In welcher Schicht wurden sie gefunden? War es tatsächlich die ursprüngliche Schicht gewesen oder wurde das Stück in einer Zisterne oder als Abfall in einem späteren Kontext gefunden? War es vielleicht auf eine Müllhalde geraten oder von einer Maus durch ein Mauseloch in eine spätere Schicht verschleppt worden? Falls es in einem Grab gefunden wurde, mit welchen weiteren Grabbeigaben war es bestattet worden? Passte die Schriftform zu der Zeit am Ende des Eisenzeitalters und was können die Bilder des Siegels (falls vorhanden) über die zeitliche Einordnung aussagen? Wer war der Eigentümer gewesen, welches Amt hatte er innegehabt, wie sicher konnte man sein, dass der Eigentümer wirklich derjenige war, der in der Bibel in der Zeit am Ende der judäischen Monarchie (der Zeit des Propheten Jeremia) oder in den Quellen aus dem Zweistromland (wie z.B. den assyrischen Annalen des 7. Jhs. v. Chr.) genannt wurde? Handelte es sich auch wirklich um die gleiche Person und nicht um Namensgenossen? Denn damals wie heute wurden gleiche Namen von mehreren Personen getragen.

Auch wenn man nicht immer mit 100%iger Sicherheit die Identität der Siegelbesitzer feststellen kann, war das Ergebnis überraschend präzise. Obwohl, wie wir bereits oben angedeutet haben, Inschriften aus der früheren Eisenzeit auf zu hohe Alter hindeuten, untermauerte das Ergebnis dieser Gruppe von Siegeln die Zuverlässigkeit des bisher von den meisten Archäologen akzeptierten Datums für die Schlussphase der Eisenzeit in Israel und Jor-

danien. Die Periode – bekannt als Eisenzeit IIC – begann im 7. Jh. v. Chr. und hörte in den meisten Fällen im 6. Jh. v. Chr. auf. Die Keramiktypen und Kleinfunde, die im unmittelbaren Umfeld vorkamen, waren immer genau die Gegenstände gewesen (z.B. Karaffenkännchen, Öllampen auf hohem Fuß, Vorratskrüge mit Rosettenstempeln, dekorierte karottenförmige Flaschen, beschriftete Gewichtssteine, Pfeilerfigurinen mit Glockenrock, dekorierte Muscheln usw.), die auch anderswo auf Ruinenhügeln in den Schichten vorkamen, die der Zerstörung durch die babylonische Armee zwischen 605-552 v. Chr. zugeschrieben worden waren. Interessant war allerdings auch, dass mehrere Personen aus der Bibel genannt wurden und dass der archäologische Fundus oft genau die biblischen Beschreibungen der letzten Tage der judäischen und jordanischen Königreiche bestätigte. Die Siegel bestätigten anscheinend nicht nur das bisher angenommene Datum für das Ende der Eisenzeit in Israel und Jordanien, sondern *sie untermauerten auch die Genauigkeit, mit der die biblischen Schreiber des Alten Testaments diese bewegende Epoche beschrieben hatten*. Davon nun einige Beispiele:

In einer gewaltigen Zerstörungsschicht in der Stadt Davids (Schicht 10), südlich des Jerusalemer Tempelbergs (es ist die einzige weitflächige Zerstörungsschicht in Jerusalem während der ganzen Periode vom 2. Jahrtausend bis zum 2.-1. Jh. v. Chr.!), machten Archäologen der Hebräischen Universität 1982 eine überraschende Entdeckung (Shiloh 1984). Inmitten der von Feuersbrunst und Krieg gezeichneten Häuser im Kaufmanns- und Eliteviertel am Osthang der Stadtanlage entdeckten sie ein Archiv. Eine solche Entdeckung ist natürlich der Traum aller Archäologen. Die einst hier gelagerten Papyrusrollen waren durch das Feuer der „babylonischen" Verwüstung für immer zerstört worden, aber die daran befestigten Tonbullen (mit u.a. den Abdrücken der beschrifteten Siegel und der Papyrusfasern der Papyri, an denen sie befestigt gewesen waren) sind im Feuer erhärtet und somit bis heute erhalten geblieben. Die meisten Siegelinhaber trugen typisch judäische Namen mit dem Gotteselement „Jahwe/Jahu", wie Hananjahu, Michajahu und Hoschejahu (Shoham 2000).

Abb. 5: Tonbulle „Gemarjahus, des Sohnes Schaphans" aus Jerusalem (mit freundlicher Genehmigung von D. T. Ariel, Israelische Antikenbehörde).

Unter den 53 geortet}}en Stücken befanden sich aber auch zwei Tonbullen, die man Personen aus der Zeit des Propheten Jeremia (der unmittelbar vor und nach der babylonischen Eroberung der Stadt gewirkt hat) zuweisen konnte.

Die vorgeschlagenen Identifikationen wurden in jüngster Zeit von Lawrence Mykytiuk und durch eigene Arbeiten mit zusätzlichen Argumenten untermauert (Mykytiuk 2004; van der Veen 2005a; 2007). Eine dieser Personen war Gemarjahu, der Sohn Schaphans (Abb. 5). Er könnte durchaus mit dem gleichnamigen Minister des Königs Jojakim aus Jeremia 36,12 identisch sein. Vor allem der Name des Vaters, Schaphan, ist im Hebräischen nur selten belegt.[5] Die Namenskombination „Gemarjahu, Sohn des Schaphan" kommt sonst nirgendwo mehr vor. Dieser hochrangige Politiker soll nach der Beschreibung in Jeremia Kapitel 36 wie sein Bruder Ahikam (Jeremia 22) ein persönlicher Freund des Propheten Jeremia gewesen sein. Auf einer weiteren Tonbulle wird ein gewisser Asarjahu, Sohn des Hilkijahu erwähnt, der, wie vermutet wird, derselbe sein könnte wie der gleichnamige Hohepriester von Jerusalem in 1Chron 5,13-15 (auch Esra 9,1). Er amtierte kurz vor der Zerstörung des ersten Tempels, aber besonders spannend ist die Tatsache, dass sein Vater Hilkia der Hohepriester gewesen ist, der das verschollene Gesetzbuch z. Zt. König Josias (ca. 625 v. Chr.) im Tempel wiederentdeckte und somit eine wichtige religiöse Reform eingeleitet hat (2Kön 22,8). Obwohl beide Namen Asarjahu und Hilkijahu im Hebräischen nicht selten sind, ist die Namenskombination des Sohn-Vater-Verhältnisses auch in diesem Fall wieder einzigartig.[6]

Leider wurden keine Amtsbezeichnungen wie „Minister des Königs" oder „Hohepriester" hinzugefügt. Dabei ist aber zu bedenken, dass Amtsbezeichnungen in der Regel nur sehr selten auf Siegeln erwähnt werden. So wird auch der Stadtkommandant von Arad (an der Südgrenze Judas) auf keinem gefundenen Siegel mit einer Amtsbezeichnung versehen, obwohl wir aus Briefen der Stadt wissen, welche Position er dort innehatte (Avigad & Sass 1997). Dennoch scheint die oben vermutete Identität dieser Personen wahrscheinlich. Nicht nur die Seltenheit der Namen bzw. die Einzigartigkeit der Namenskombinationen unterstützen die Identität, sondern auch der Fundort (die Tonbullen wurden nur wenige hundert Meter vom Palast- und Tempelareal entdeckt, wo die biblischen Amtspersonen wirkten). Besonders bezeichnend scheint auch zu sein, dass die Tonbullen genau in der Zerstörungsschicht gefunden wurden, die mit der Zerstörung der Stadt durch die Babylonier zur Zeit Jeremias in Verbindung gebracht wird. Bei einer weiteren Ausgrabung der hebräischen Universität entdeckte die Archäologin E. Mazar im Jahr 2005 (Mazar 2006) unweit des vorherigen Archivs in der Davidstadt und wieder-

um im Zerstörungsschutt derselben Periode eine Tonbulle, deren Eigentümer „Jehuchal, der Sohn des Schelemjahu“ erneut durchaus mit einem biblischen Minister aus dem Buch Jeremia identisch sein könnte (vgl. Jer. 37,3; 38,1; Abb. 6).

Die Schriftart all dieser Stücke ist ganz typisch für diese Periode in Juda (VAN DER VEEN 2005a). Auch außerhalb Jerusalems kamen Siegel ans Licht, deren Eigentümer mit bekannten Personen aus der Periode Jeremias identisch sein könnten. So entdeckte der amerikanische Archäologe William BADÉ bereits 1932 in einer Grabkammer (deren Inhalt eisenzeitliche Spuren des 7.-6. Jhs. v. Chr. aufzeigte) in Tel en-Nasbe (dem biblischen Mispa), nördlich von Jerusalem, ein wunderschönes Onyxsiegel des „Jaasanjahu, dem Hofdiener des Königs“ (AVIGAD & SASS 1997). Das Alte Testament erzählt an zwei Stellen (2Kön 25,25; Jeremia, Kap. 40), wie ein gewisser Jaasanja[hu] (ein ehemaliger General des letzten judäischen Königs Zedekia) sich dem in Mispa von den Babyloniern ernannten Statthalter Gedalja anschloss, kurz darauf jedoch bei einer Revolte ums Leben kam. Sowohl die Schriftform als auch die Abbildung eines kämpfenden Hahns passen eindeutig in die Zeit Jeremias (VAN DER VEEN 2005a; 2007).

Aus dem Gebiet südlich von Amman (der Hauptstadt Jordaniens), stammt sogar ein Krugstöpsel mit dem Namen des Königs dieses Gebiets, der nach 2Kön 25,25 (par. Jer. 40,14) für die Ermordung Jaasanjas und Gedaljas mitverantwortlich gewesen sein soll. Auf dem alten Ruinenhügel Tall al-Umayri fanden nämlich Archäologen der Andrews University/USA 1984 in der obersten Schicht, direkt oberhalb der Palastanlage aus dem 6. Jh. v. Chr., einen winzig kleinen Tonkorken mit der Inschrift „Milkom'ur, Minister des (Königs) *Baaljischas*“ (Abb. 7; GERATY 1985). Auf dem Korken ist auch das Königssymbol des geflügelten Käfers, flankiert von Papyrusstauden, zu sehen. Die Schriftzeichen sind typisch für dieses Gebiet jenseits des Jordangrabens, und vor allem die offenen Buchstaben verraten das Alter des Stöpsels, nämlich um 600 v. Chr. (HERR 1989; VAN DER VEEN 2005a). Es wird allgemein anerkannt, dass der Name Baaljischa tatsächlich der biblischen Form „Baalis“ entspricht (HENDEL 1996; BECKING 1999). In der griechischen Übersetzung des Alten Testaments heißt dieser König „Belisa“.

Interessant ist auch, dass wir heute eine durchgehende Königsliste der Könige der Ammoniter von 750 bis zur Zeit der Annektierung Ammons durch die Babylonier 582 v. Chr. besitzen. Nur der ammonitische König aus Jeremia 40 trug diesen Namen und steht als einziger zur Debatte. Von dem gleichen König stammt auch das vor wenigen Jahren auf dem Antikenmarkt erworbene, jedoch nur fragmentarisch erhaltene Siegel mit der Inschrift: „Baaljisch[a], König der Sö[hne Ammo]ns“ (DEUTSCH 1999).

Abb. 6: Tonbulle „Jehuchals, des Sohnes Schelemjahus, des Sohnes Schobis“ aus Jerusalem (mit freundlicher Genehmigung von A. LITHWICK, Shalem Center, Jerusalem).

Es gibt auch Siegel und Tonbullen aus dieser Periode, deren Eigentümer zwar nicht direkt mit bekannten Personen aus der Bibel oder anderer Dokumente in Verbindung gebracht werden können, aber dennoch für die Datierung der letzten Phase der Eisenzeit von besonderer Bedeutung sind. So fand der israelische Wissenschaftler Yohanan AHARONI 1966 auf Tel Lachisch genau in der letzten Schicht der Eisenzeit, in einem kleinen Krug (der wiederum typisch ist für die Endphase dieser archäologischen Epoche) 17 Tonbullen (AHARONI 1975). Die meisten befanden sich zwar in schlechtem Zustand, aber besonders eine war noch recht gut leserlich. Zwar fehlt der Rand rechts unten, klar ist jedoch, dass es sich um einen königlichen Beamten handeln muss, denn der Tonverschluss verrät, dass es vom amtlichen Siegel des „Schebanjahu, der … [Text rechts unten fehlt] des Königs“ bedruckt wurde. Bei einem genauen Vergleich aller sorgfältig geschnittenen Siegel und bedruckten Tonbullen, die in der oberen Zeile den Namen des Inhabers und in der unteren Zeile entweder den Amtstitel oder die Formel „Sohn des NN“ erwähnen, konnte Folgendes festgestellt werden (VAN DER VEEN 2005a): Die geübten (und administrativ hochrangigen) Steinschneider dieser Epoche hatten immer, wenn sie sich dazu entschieden hatten, die oben erwähnten Formeln in der unteren Zeile einzugravieren, den ersten Buchstaben der unteren Zeile *direkt senkrecht* unterhalb dem der ersten Zeile

Abb. 7: Tonbulle „Milkomurs, des Ministers [des Königs] Baʿaljischas“ (mit freundlicher Genehmigung von P. RAY Jr., Andrews University, Berrien Springs).

Abb. 8: Abguss der Königsbulle von „Qosgabr, dem König von Edom" aus Umm al-Bayyara / Jordanien (Foto: Richard Wiskin, Abguss: Konrad Meier).

angefangen, egal wie lang der Name oder der Amtstitel war. So war es möglich, festzustellen, dass der fehlende Teil des Amtstitels „… des Königs" mit etwa 90%iger Wahrscheinlichkeit des *„Königssohns"* („Sohn des Königs") gewesen sein muss. Eine weitere Bulle mit dem Amtstitel „Sohn des Königs" war bereits 1931 im judäischen Städtchen Bet Zur (jedoch leider in einer späteren Zisterne aus der Perserzeit) entdeckt worden. Beide Stücke wurden auch in derselben Schrift verfasst, die üblich ist für die Abschlussphase der Eisenzeit.

Die Funde zeigen, wie genau die biblischen Autoren die historischen und politischen Zusammenhänge ihrer Zeit geschildert haben.

Aber was ist nun so besonders bedeutsam an dieser Tonbulle aus Tel Lachisch? Könige gab es in Juda nur *bis* 587 v. Chr., als die judäische Monarchie von den Babyloniern beendet wurde. Danach gab es erst wieder Könige während der Hasmonäerzeit im 2.-1. Jh. v. Chr., als diese Siegel und Bullen nicht mehr verwendet wurden. Mit anderen Worten, ein Prinz mit einem typisch judäischen Namen (mit dem Gotteselement „Jahu") kann unmöglich noch *nach* 587 v. Chr. amtiert haben. Die letzte Eisenzeitschicht muss also *vor* der Invasion der Babylonier 587 v. Chr. besiedelt gewesen sein! Somit wurde also umso mehr deutlich, dass es unmöglich war (wie wenige Wissenschaftler vorgeschlagen hatten), das Ende der Eisenzeit in Juda chronologisch noch weiter nach „unten" zu verschieben.

Dass die letzte Phase der Eisenzeit im 7. Jh. v. Chr. anfing und spätestens irgendwann im 6. Jh. aufhörte, davon zeugen auch zwei Siegelfunde aus Jordanien. In einem eisenzeitlichen Grab in Amman, das bis ca. 1950 von Beduinen als Unterschlupf für Mensch und Tier genutzt wurde, entdeckte der Archäologe Lancester Harding um 1950 eine gewaltige Anzahl von Grabbeigaben. Manche Stücke waren von den früheren Bewohnern verkauft worden und allmählich auf dem Antikenmarkt aufgetaucht, weitere (teils genau dazu passende) Stücke wurden bei einer Grabung vor Ort sichergestellt (Harding 1953). Lokal hergestellte assyrische Keramik wie auch ein badewannenähnlicher Sarkophag deuten darauf hin, dass das Grab am Ende der Eisenzeit zur Zeit der assyrischen und babylonischen Herrschaft in Gebrauch gewesen sein muss. Dies wurde dann auch von im Grab gefundenen Siegeln bestätigt. Einer der dort bestatteten hohen Beamten war ein „Minister des (ammonitischen Königs) Amminadab" gewesen. Die Schriftform deutet auf die erste Hälfte des 7. Jhs. v. Chr. hin (van der Veen 2005a). Wie wir aus assyrischen Annalen wissen, regierte damals tatsächlich ein König Amminadab (I.) über das Königreich der Ammoniter (Pritchard 1969). Die Schrift des Siegels ist eindeutig früher als die des späteren (oben erwähnten) Tonstöpsels von König Baaljischa / Baalis. Aus derselben Zeit stammt auch der Tonverschluss des Edomiter-Königs Qosgabr aus Umm al-Bayyara (eine Felsensiedlung oberhalb der antiken Stadt Petra in Südjordanien – Abb. 8). Der Ort Umm al-Bayyara war nur kurze Zeit lang bewohnt gewesen und zeigt neben viel späteren Überresten nur Spuren aus der Endphase der Eisenzeit auf.[7] Der auf der Tonbulle erwähnte König Qosgabr ist ebenfalls aus den assyrischen Annalen des 7. Jhs. v. Chr. bekannt. Fazit: das zur letzten Phase der Eisenzeit gehörende Umm al-Bayyara war zwischen ca. 650-550 v. Chr. besiedelt gewesen.

Die Inschriften machen es also möglich, das Ende der Eisenzeit genau zu datieren. Zugleich zeigen uns diese Funde, wie genau die biblischen Autoren die historischen und politischen Zusammenhänge ihrer Zeit geschildert haben. Höflinge, Priester und selbst ein König, die im Alten Testament in der Zeit Jeremias um 600 v. Chr. erwähnt werden, sind auf Siegelfunden aus legalen Grabungen belegt.

Die „Biblische Archäologie"

Es ist zu hoffen, dass für die früheren Phasen der Eisenzeit ebenfalls genügend Schriftfunde aus gut nachweisbaren archäologischen Schichten gefunden werden. Nur so kann die systematische Studie der Chronologie der Eisenzeit fortgesetzt werden. Es bedarf ohne Zweifel der Mitarbeit mehrerer Wissenschaftler, um dieses große Gebiet zu bewältigen. Dazu ist eine internationale und interdisziplinäre Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern ins Auge gefasst, um die chronologischen Probleme von der Späten Bronzezeit-Eisenzeit anzugehen und ihre Konsequenzen für die „Biblische Archäologie" (d.h. für die Verbindungen zwischen der biblischen

Frühgeschichte Israels und der Archäologie des Nahen Ostens) zu erforschen.

Wie bereits anderweitig detailliert diskutiert wurde, gibt es gute Anzeichen dafür, dass sich bei einem chronologischen Versatz von ca. 150+? Jahren von der Mittleren Bronzezeit (ca. 1400 v. Chr.) bis hin zum Ende der Eisenzeit (ca. 550 v. Chr.) bessere Parallelen zwischen dem Alten Testament und der Palästina-Archäologie finden lassen (z.B. VAN DER VEEN & ZERBST 2003; ZERBST & VAN DER VEEN 2005). Bei einer solchen chronologischen Verkürzung entsteht eine Vielzahl von vielversprechender Synchronismen zwischen den biblischen Geschichten und der Archäologie (z. B. beim Auszug aus Ägypten, bei der Landnahme und beim Großreich Salomos). Um diese jedoch erhärten zu können, wird mit großer Sorgfalt die Datierung der einzelnen Schichten anhand der Inschriften genauestens überprüft werden müssen.

Anmerkungen

[1] Nicht immer ist dies möglich, da Funde auch als Erbstücke über viele Generationen weitergereicht wurden und somit ihre Bedeutung für eine klare Datierung verloren haben.

[2] Dennoch wurde die Korrektheit der ägyptischen Chronologie auch z. Zt. FLINDERS-PETRIES von z.B. dem britischen Gelehrten Cecil TORR in Frage gestellt. Wie der zeitgenössische Ägyptologe Jens LIEBLEIN plädierte auch er für eine niedrigere, ca. 200 Jahre kürzere Chronologie Ägyptens (TORR Neuauflage 1986; LIEBLEIN 1914).

[3] Aufgrund eines architektonischen Vergleichs zwischen Samaria und Megiddo datiert nun N. FRANKLIN (von der Uni Tel Aviv) die Toranlage von Megiddo auf das 8. Jh. v. Chr. und ordnet es alternativ einer einheitlichen Schicht ‚IV' zu: FRANKLIN 2005.

[4] Die Datierung der Schrift könnte auf das 10. Jh. v. Chr. hinweisen (pers. Mitteilung von Dr. Reinhard LEHMANN, Universität Mainz).

[5] Im AT dürfte er nur von einer einzigen Person, dem Schreiber König Josias (2Kön 22,3ff.) und dem Vater Germarjas getragen worden sein. Obwohl er als ‚väterlicher Name' für vier weitere Personen im AT belegt ist (2Kön 22,12; 25,22; Jer 29,3; Hes 8,11), erklärt FOX (2001), dass Staatsämter oft nur innerhalb von wenigen adligen Familien vergeben wurden. Somit könnten alle genannten Schaphans ein und dieselbe Person sein.

[6] Auf einem aus dem Handel stammenden Siegel wird das gleiche Namenspaar noch einmal erwähnt. Der Besitzer wurde jedoch ebenfalls mit demselben Hohenpriester in Verbindung gebracht (vgl. DEUTSCH & LEMAIRE 2000).

[7] Während meiner Forschungen am Kenyon-Institut in Jerusalem 2004 kam eine bisher unbeachtete Tonbulle ans Licht mit den Zeichen der babylonischen Staatsgötter Marduk und Nabu. Dies beweist, dass Umm al-Bayyara noch bis in die Babylonierzeit hinein existierte. Nach der Berichterstattung des Königs Nabonidus soll Edom erst 552 v. Chr. von den Babyloniern annektiert worden sein (VAN DER VEEN 2006; EGGLER & KEEL 2006).

Literatur

AHARONI Y (1975) Lachish – The Sanctuary and Residency. Tel Aviv.

AVIGAD N (1976) New Light on the Naᶜar Seals in: F. M. CROSS et al Magnalia Dei, The Mighty Acts of God. New York.

AVIGAD N & SASS B (1997) Corpus of West Semitic Stamp Seals. Jerusalem.

BECKING B (1999) The Seal of Baalisha, King of the Ammonites – Some Remarks. Biblische Notizen *97*, 13-17.

DEUTSCH R (1999) Seal of Baᶜalis Surfaces. Biblical Archaeology Review *25(2)*, 46-49, 66.

DEUTSCH R & LEMAIRE A (2000) Biblical Period Personal Seals. Tel Aviv.

EGGLER J & KEEL O (2006) Corpus der Siegel-Amulette aus Jordanien. Fribourg.

JAMES PJ et al. (1991) Centuries of Darkness. London.

LIEBLEIN J (1914) Recherches sur l'histoire et la civilisation de l'ancien Égypte. Leipzig.

FINKELSTEIN I & SILBERMAN NA (2002) Keine Posaunen vor Jericho. München.

FINKELSTEIN I & SILBERMANN NA (2006) David and Solomon. New York.

FOX NS (2000) In the Service of the King. Cincinnati.

FRANKLIN N (2005) Correlation and Chronology – Samaria and Megiddo Redux. In: LEWY & HIGHAM (eds): The Bible and Radiocarbon Dating. London.

GARFINKEL Y(1990) The Eliakim Naᶜar Yokan Seal Impressions. Biblical Archaeologist.

GERATY LT (1985) A Preliminary Report on the First Season at Tell el-Umeiri. Andrews University Seminary Studies *23(1)*, 85-100.

HARDING GL (1953) The Tomb of Adoni Nur in Amman. Palestine Exploration Fund Annual *6*, 48-65.

HENDEL RS (1996) Sibilants and Šibbolet (Judges 12:6). Bulletin of the American Schools of Oriental Research *301*, 96ff.

HERR LG (1989) The Inscribed Seal Impression. In: GERATY et al. (eds) Madaba Plains Project Bd. 1, Berrien Springs.

MAZAR E (2006) Did I Find King David's Palace? Biblical Archaeology Review *32(1)*, 16-27, 70.

MYKYTIUK LJ (2004) Identifying Biblical Persons in Northwest Semitic Inscriptions of 1200-539 B.C.E. Atlanta.

PRITCHARD JB (1969) Ancient Near Eastern Texts Relating to the Old Testament. Princeton.

SASS B (2005) The Alphabet at the Turn of the Millenium, E & C Yass Publications in Archaeology, Tel Aviv.

SHILOH Y (1984) City of David I. Qedem *19*, 19-20.

SHOHAM Y (2000) Hebrew Bullae. Qedem *41*, 29-57.

TORR C (1988=Nachdruck von 1896) Memphis and Mycenae. ISIS Occ. Publications, Redhill.

USSISHKIN D (1993) Gate 1567 at Megiddo and the Seal of Shema, Servant of Jeroboam. In: COOGAN et al. (eds) Scripture and Artefacts. Westminster.

VAN DER VEEN PG (2005a) The Final Phase of Iron Age IIC and The Babylonian Conquest. Unpublizierte Promotionsarbeit – Uni Bristol. Publikation demnächst in der Reihe AOAT des Ugarit-Verlags, Münster.

VAN DER VEEN PG (2005b) A Revised Chronology and Iron Age Archaeology – An Update. Journal of the Ancient Chronology Forum *10*, 19-20.

VAN DER VEEN PG (2006) The Seal Material. In: BIENKOWSKI (ed) Umm el-Biyara Excavations, Oxford University Press, Oxford (noch nicht erschienen).

VAN DER VEEN PG (2007) Gedaliah ben Ahiqam in the Light of Epigraphic Evidence. In: LUBETSKI (ed): New Seals and Inscriptions, Hebrew, Idumean, and Cuneiform. Sheffield Phoenix Press, Sheffield (erscheint Juni 2007).

VAN DER VEEN PG & ZERBST U (2003) Biblische Archäologie am Scheideweg? Hänssler Verlag, Holzgerlingen.

VIEWEGER D (2003) Archäologie der biblischen Welt. Göttingen.

WIGHTMAN G (1990) The Myth of Solomon. Bulletin of the American Schools of Oriental Research *277/278*, 5-22.

ZERBST U & VAN DER VEEN PG (2005) Keine Posaunen vor Jericho? Holzgerlingen.

ZIMHONI O (2004) The Pottery of Levels III and II. In: USSISHKIN: The Renewed Archaeological Excavations at Lachish (1973-1994) Bd. IV. Tel Aviv.

Langzeitproblem: Entstehung eines Salzbergs im Iran

Aufstieg des Kuh-e-Namak trotz ausgedehnter Regenperioden?

Manfred Stephan, Lerchenweg 26, 71394 Kernen i.R.

Zusammenfassung: **Der Salzberg Kuh-e-Namak (Zentraliran) wurde im Quartär trotz ausgedehnter Regenzeiten (Pluviale) um mehr als 300 Meter herausgehoben (Busche et al. 2002). Es wird gezeigt und diskutiert, dass diese Hypothese der Salzberg-Entstehung mit den langzeitlich verstandenen, auch im Iran ausgeprägten Pluvialzeiten schwerlich vereinbar ist. Daher ist der Schluss plausibler, dass in diesem Fall der Salzberg längst komplett weggelöst worden wäre. Die Befunde am Kuh-e-Namak lassen sich einleuchtender mit der Annahme *erheblich kürzerer* quartärer Regenzeiten erklären (wahrscheinlich mehrere Zehnerpotenzen geringer). Zum besseren Verständnis dieser Vorgänge wird einleitend das geologische Umfeld des Salzbergs, die großräumige Flächenbildung im Zentraliran und die tertiäre chemische Gesteinszersetzung skizziert.**

Einführung: Zum geologischen Umfeld des Kuh-e-Namak

Salzlager von mehreren Hundert Metern Mächtigkeit (Dicke), die von kilometermächtigen Sedimenten bedeckt werden, sind instabil und neigen dazu, unter der Auflast plastisch zu „fließen“, zumal Salz mit einem spezifischen Gewicht um 2,1 leichter als das überlagernde Gestein ist. Sie können als pilzförmige Salzstöcke bzw. Salzdiapire (griech. von *diapeirein,* durchstoßen) oder auch als langgestreckte Salzmauern entlang tektonischer Störzonen nach oben das Deckgebirge durchdringen. Steigen Salzdiapire so weit auf, dass sie mit grundwasserführenden (Locker-)Sedimenten wie Sanden oder Kiesen in Kontakt kommen, werden die Salze gelöst und können als Sole abtransportiert werden (z.B. Talbot & Jackson 1987, 76-81). Dieser Lösungshorizont wird als Salzspiegel bezeichnet; man spricht auch von der Salzlösungsfront. Ausgedehnte Schichtfolgen im Untergrund Norddeutschlands und der südlichen Nordsee sind mit aufgedrungenen Salzstrukturen durchsetzt (z.B. Rothe 2005, 175-179; vgl. Abb. 1).

Im Iran gibt es in drei Regionen insgesamt einige Hundert Salzdiapire.[1] Im abflusslosen Becken der Großen Kevir-Ebene stoßen etwa 50 pilzförmige Salzdiapire bis zur Oberfläche durch. In der westlichen Fortsetzung des Beckens, das heute nur durch eine kaum merkliche Wasserscheide von diesem getrennt ist (Busche et al. 2002, 72), liegt u.a. das kleinere Becken von Qom (bzw. Ghom oder Qum). Der bedeutendste Salzdiapir ist hier der Kuh-e-Namak (= *Salzberg*). Er liegt 20 km nordwestlich der Stadt Qom und etwa 110 km südwestlich von Teheran (Abb. 2).[2]

Im Großen Kevir-Ablagerungsbecken wurden seit dem Eozän (Alttertiär) 6-7 km Sediment abgesetzt. Die Salzlager entstammen zwei Ablagerungsepisoden. Das reine, ältere Salz gehört zur obereozänen *Lower Red Formation (LRF),* die aus Salz-/Tonstein-Schichtfolgen aufgebaut ist; darüber liegt der oligozäne Qom-Kalk. Das darauffolgende jüngere Salz ist mit Ton-, Silt-, Sand- und Gipslagen gebändert und bildet die Basis der ins Untermiozän eingeordneten *Upper Red Formation (URF),* die noch weiter untergliedert wird (M1-3) (Abb. 3 und Tab. 1). Beim Aufstieg wurden die Salzdiapire durch seitlichen Druck leicht verdreht. Das geschah vermutlich im Obermiozän (vgl. Tab. 1) und wird als komplex abgelaufene Fernwirkung der plattentektonisch bedingten Kollision Indiens mit Südasien verstanden (Busche et al. 2002, 69-70). Das ältere Salz bildet die Kerne der Diapire (Abb. 4). Diese Ereignisse endeten im Zentraliran mit der flächenhaften Abtragung (Kappung) einer mindestens 1000 m mächtigen Schichtenfolge, die zuvor durch tektonische Bewegungen und den Salzaufstieg stark deformiert worden war. Die flächenhafte Kappung legte also die entstehende Kevir-Fläche erheblich tiefer (Abb. 3).

<table>
<tr><td rowspan="5">Quartär</td><td colspan="3">Holozän („Nacheiszeit“; Jetztzeit)</td><td rowspan="2">Wechsel von Pluvialen (Feuchtzeiten) und Interpluvialen (Trockenzeiten)</td><td rowspan="2">Wechsel von Warmzeiten (Interglazialen) und Kaltzeiten (Glaziale = Vereisungszeiten)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Pleistozän („Eiszeit“)</td><td>Jungpleistozän (Spätquartär)</td></tr>
<tr><td>Altpleistozän (Früh- bzw. Altquartär)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Grenze Tertiär/Quartär</td><td colspan="2">Bachtiari-Konglomerat</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Tertiär</td><td>Pliozän</td><td colspan="3">Endtertiäre Bildung der Kevir-Rumpffläche</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Miozän</td><td>Obermiozän</td><td colspan="2">Diapir-Aufstieg</td></tr>
<tr><td>Untermiozän</td><td colspan="2">Upper Red Formation (URF); an ihrer Basis junges Salz</td></tr>
<tr><td colspan="2">Oligozän</td><td colspan="2">Qom-Kalk</td></tr>
<tr><td></td><td>Obereozän</td><td colspan="2">Lower Red Formation (LRF); mit altem Salz</td></tr>
</table>

Tab. 1: Vereinfachte Darstellung der jüngeren erdgeschichtlichen Systeme und Untergliederungen (Tertiär ab Obereozän und Quartär) sowie einige geologische Formationen und Ereignisse im Zentraliran (Weiteres im Text). Der angenommene mehr- bis vielfache Wechsel von Pluvial- und Interpluvialzeiten in den Tropen und Subtropen sowie von Kalt- und Warmzeiten in den hohen geographischen Breiten ist nicht dargestellt.

Stud. Int. J. 14 (2007), 12-20

Jungtertiäre Kevir-Rumpffläche und Gesteinszersetzung

Nachfolgend werden die Bedingungen skizziert, die zur Entstehung des Salzbergs Kuh-e-Namak führten. Dabei wird gezeigt, dass seine Heraushebung auf das Quartär beschränkt war. Das wiederum führt zu zeitlichen Problemen seiner Entstehung bzw. Erhaltung (s. nächsten Abschnitt).

Voraussetzung für die Entstehung des Kuh-e-Namak ist die Bildung der Großen Kevir-Fläche im Jungtertiär (Abb. 3; vgl. Tab. 1). Diese Ebene gehört in den weltweiten Rahmen der Entstehung ausgedehnter Flächen (*Rumpfflächen*) auf dem Festland infolge großräumiger Abtragungs- bzw. Abspülprozesse. Das ist ein schwieriges und seit vielen Jahrzehnten diskutiertes Problem der Geomorphologie, der Lehre von der Oberflächengestalt der Erde (z.B. Davis & Rühl 1912; Bremer 1989; 2003; Wirthmann 1994; Borger 2000; Boldt 2001; Überblick bei Busche 2002; Busche et al. 2005, 11-31).

Die jungtertiäre Kappungsfläche der Großen Kevir-Ebene schneidet die unterschiedlichsten und verstellten Sedimentgesteine (Ton-, Sand-, Gips und Salzlagen) waagerecht ab und greift auch nach Süden über die große tektonische Kevirstörung auf flach abgeschnittene metamorphe Gesteine über; das wäre jedoch bei *hartem* Gestein kaum möglich gewesen (Abb. 3). Nach Busche et al. (2002, 70) erklärt sich dieser Befund genauso wie irgendwo sonst auf der Erde: Die Große Kevier-Rumpffläche ist durch *flächenhafte Abspülung* entstanden; voraus ging eine chemische Intensivzersetzung der Ton- und Sandsteine. Damit ist gemeint: Zunächst hatten chemische Prozesse die Gesteine bis in größere Tiefen zersetzt. Es wird angenommen, dass dies unter Bedingungen geschah, die es heute nirgends auf der Erde gibt. Man vermutet, dass dafür das Klima verantwortlich war; vieles deutet darauf hin, dass es damals (fast) weltweit erheblich wärmer und bedeutend regenreicher war als selbst

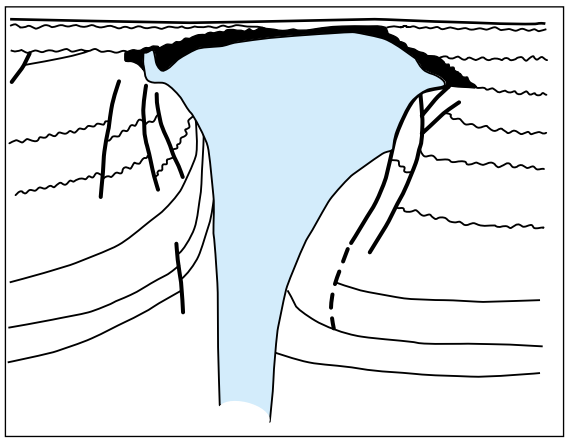


Abb. 1: Senkrechter Schnitt durch einen mehrere km hohen, pilzförmigen Diapir (blau) aus Zechsteinsalz mit Gipshut (schwarz), der als Lösungsrelikt (Residuum) im Bereich des Grundwasserspiegels nahe der Erdoberfläche entstanden ist. Der Diapir hat beim Aufstieg die Schichtfolgen durchbrochen und randlich hochgeschleppt bzw. tektonisch verstellt. Wienhausen bei Celle, Nordwestdeutschland. (Verändert nach A. Bentz)

in den heutigen feuchten Tropen (Borger 2000, 166-169; Boldt 2001, 41, 68; Bremer 2002, 26-27).[3] Solche Voraussetzungen waren im anschließenden Quartär (wohl) nicht mehr gegeben; schon deshalb kann auch die Kevir-Rumpffläche nicht erst im Quartär entstanden sein. Funde dieser tertiären Zersetzungsprodukte kennt man auch aus dem iranischen Hochland und seiner Umgebung (Busche et al. 2002, 70). Das mehr oder weniger weiche, zersetzte Substrat wird *Saprolit* genannt, was drastisch-wörtlich „verfaultes Gestein" bedeutet.

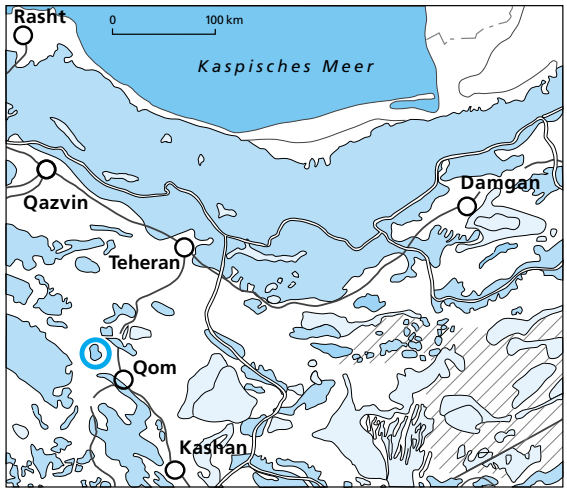


Abb. 2: Geographische Lage des Salzbergs Kuh-e-Namak im Zentraliran. Der durch einen Kreis gekennzeichnete Salzberg liegt ca. 20 km nordwestlich der Stadt Qom und etwa 110 km südwestlich von Teheran. Die Doppellinien markieren Wasserscheiden. Der hellblaue und schrägschraffierte Bereich rechts gehört zur Großen Kevir-Ebene (vgl. Abb. 3). (Verändert nach Busche et al. 2002)

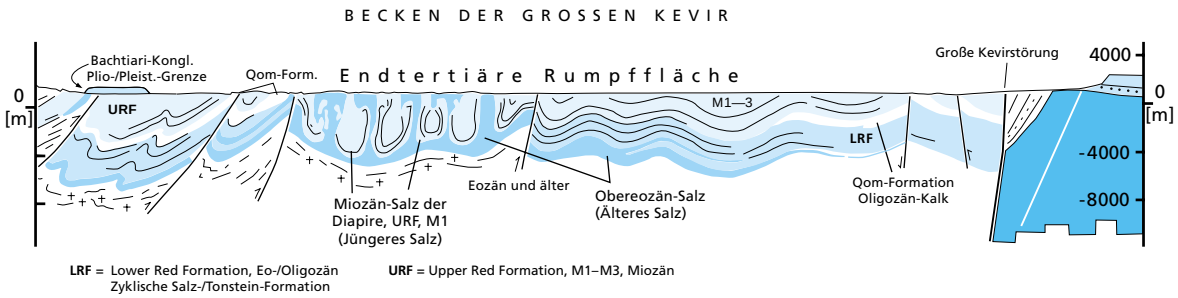


Abb. 3: Senkrechter Schnitt durch das Becken der Großen Kevir (Zentraliran) von Nordwest (links) nach Südost (rechts). Halblinks sind skizzenhaft Diapire angedeutet (älteres Obereozän-Salz mittelblau; jüngeres Miozän-Salz hellblau; vgl. Abb. 4). Im Bereich geringerer Salzmächtigkeiten (links außen und rechts) reichte der Auftrieb für das Aufsteigen des Salzes nicht aus. Eindrücklich ist die weitgespannte endtertiäre Kevir-Rumpffläche; sie kappt die gefalteten und salztektonisch gestörten Schichtfolgen horizontal, ungeachtet der jeweiligen Sedimentsorten. Die Rumpffläche greift sogar ganz rechts über die tektonische Naht der großen Kevirstörung auf metamorphes Gestein (dunkelblau) über. Ganz links auf der Rumpffläche als jüngstes Sediment Reste des Bachtiari-Konglomerats, das an die Tertiär-/Quartär-Grenze gestellt wird (s. Tab. 1). (Verändert nach Busche et al. 2002)

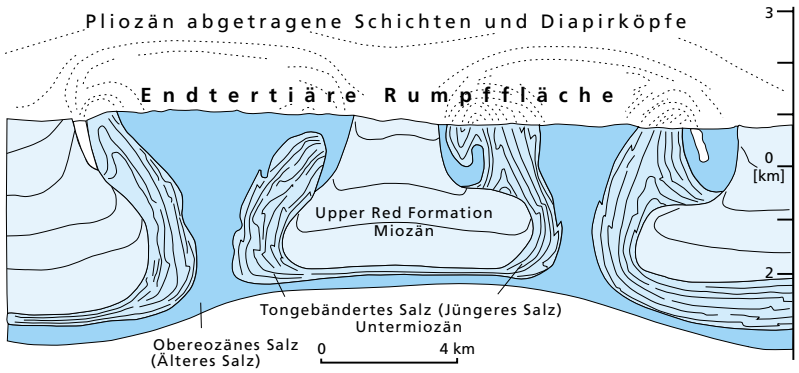


Abb. 4: Senkrechter Schnitt durch zwei Diapire (dunkelblau) der Großen Kevir-Ebene (Zentraliran), die durch die endtertiäre Rumpfflächenbildung gekappt sind. Das ältere, obereozäne Salz (dunkelblau) ist aus größerer Tiefe aufgestiegen. Es schleppte beim Aufstieg als Kern der Diapire das u.a. mit Tonlagen gebänderte jüngere, untermiozäne Salz von der Basis der Upper Red Formation mit nach oben. Auch hier wurde diese mehrere km mächtige Formation beim Salzaufstieg durchbrochen und randlich hochgeschleppt. (Verändert nach Busche et al. 2002)

Diese Zersetzungsdecke konnte anschließend leicht flächenhaft abgetragen, also abgespült werden (z.B. Rohdenburg 1983, 421, 434; Busche 1998, 17-19, 25; 2005, 73-74; Boldt et al. 2002, 96). Das wird zusätzlich dadurch erleichtert, dass Saprolit einen geringen inneren Zusammenhalt (Kohäsion) der Mineralkörner besitzt (Felix-Henningsen 1990, 148); er kann zersetzungsbedingt bis über 20% seines Volumens verloren haben (Busche 2005, 71). Auch Eissmann (1997, 22, 24) weist auf die gute Vorbereitung hin, die die Gesteinszersetzung der anschließenden Abtragung leistete. Ebenso bildete nach Stengel (2002, 16) der Saprolit für nachfolgende Erosionsprozesse ein extrem anfälliges Substrat; seine flächenhafte Abtragung muss „sehr schnell abgelaufen sein“ (Busche et al. 2005, 79). Noch heute können weltweit in bestimmten Arealen mehrere Hundert Meter mächtige Saprolitdecken erhalten sein (z.B. Bremer et al. 1995, 13; Busche et al. 2005, 66-74). Für die großräumige Abspülung des Saprolits in der heute extrem trockenen Sahara, also im Verlauf der auch dort ausgedehnten tertiären Flächenbildung, nimmt Busche (1998, 42) „hohe, oft sicherlich katastrophenartige Starkniederschläge“ an.

Der (wasserfreie) Anhydrit in der Tiefe neben dem Salzberg Kuh-e-Namak geht nach oben in (wasserführenden) gefalteten Gips über (vgl. Abb. 6: *Gipsreiche Salzfalte*). Man geht davon aus, dass der Gips nur bei starker Wasseraufnahme in einem heute nicht mehr vorhandenen durchgehenden oberflächennahen Grundwasserkörper entstanden sein kann, also unter sehr regenreichen (humiden) Bedingungen. Neben anderen Befunden weist das auf frühere hohe Niederschläge im Iran hin (s.u.). Nicht nur die Gesteine sind an dieser Rumpffläche horizontal abgeschnitten (s.o.). Auch die Salzdiapire wurden flach gekappt; das ergab sich unter feuchten Klimabedingungen nach Busche et al. (2002, 70-71) zwangsläufig. Denn im Kontaktbereich des Salzes mit untersättigtem, fließenden Grundwasser bildete sich ein Lösungshorizont (Salzspiegel). Diese Lösungsfront ist mit dem Niveau der Kevir-Rumpffläche identisch (vgl. Abb. 3, 4 und 6a). Im Bereich dieses Horizonts wurde das Salz gelöst und durch die abfließende Salzsole aus der Kevir-Ebene heraustransportiert (s.u.). Die Salzdiapire konnten infolge ständiger Lösung an dieser Front nicht über die Rumpffläche herausgehoben werden. Im Tertiär konnten also noch keine Salzberge entstehen.

Die Rumpffläche der Großen Kevir kann nach Busche et al. (2002, 70-71) auch deshalb keine im Trockenklima entstandene Reliefform sein, weil sie in den nördlichen Randbereichen von Resten des Bachtiari-Konglomerats überlagert ist (Abb. 3). Zeitlich wird das Konglomerat an die Tertiär/Quartär-Grenze gestellt (Tab. 1). Diese Geröllschüttung ist also jünger als die große Rumpffläche und wird als frühestes Sediment der Region angesehen, das unter halbwüstenhaften (semiariden) Bedingungen entstanden ist – allerdings kann man angesichts des enormen Wassertransports der Gerölle an dieser Klimazuordnung Zweifel anmelden. Abflusslos kann die Große Kevir-Rumpffläche samt ihren Randgebieten nach Busche et al. (2002, 71) erst später geworden sein, nachdem wiederum große Teile des Bachtiari-Konglomerats von der Kevir-Fläche abgetragen und die Erosionsprodukte durch starke Strömungsereignisse aus der Ebene heraustransportiert worden waren, also nicht vor dem Altquartär.[4] Neben weiteren Befunden dürfte dies zeigen, dass der Kuh-e-Namak erst nach dem Ende des extrem niederschlagsreichen Tertiär-Klimas entstanden sein kann, also frühestens im Altpleistozän (vgl. Tab. 1; Abb. 6a-b). Das ist wichtig, um die zeitlichen Bedingungen seiner Entstehung einzugrenzen. Die damit verknüpften Zeitprobleme werden im nächsten Abschnitt behandelt.

Salzberg-Erhaltung: Nicht im Halbwüstenklima, erst recht nicht in Regenzeiten

Im vorigen Abschnitt wurde dargestellt, dass die extrem feuchtklimatische Situation bis zum Abschluss der endtertiären Kevir-Rumpfflächenbildung noch keine Heraushebung des Salzdiapirs als Berg ermöglichte (Abb. 3, 4 und 6a). Im Folgenden wird gezeigt: Selbst wenn der Salzdiapir im anschließenden Quartär unter zeitweise wüstenhaftem Trockenklima als Salzberg aufstieg, hätte er einer Auflösung in den – wie man annimmt – *langen* quartären Regenperioden (Pluvialen) nicht entgehen können. Dieser Widerspruch lässt sich lösen, wenn zumindest die Dauer der feuchten Pluvialzeiten erheblich verkürzt wird.

Bis zum Ende des Tertiärs wurde also die Heraushebung des Salzdiapirs durch grundwasser-

bedingte Salzlösung verhindert. Man geht davon aus, dass sich dies mit zunehmendem Trockenklima im Verlauf des Frühquartärs geändert hat. Während die meisten Kappungsflächen der Diapire in der Großen Kevir nahezu im Niveau der Rumpffläche liegen, hat nach Busche et al. (2002, 72) ein um 50 m herausgehobener Salzberg die endtertiäre Kappungsfläche bewahrt (Abb. 5). Ähnlich der stärker herausgehobene Kuh-e-Namak; er gehört zu den bedeutendsten Salzbergen und ragt 320 m über die Rumpffläche auf. Ungefähr um diesen Betrag sei der Salzdiapir im Quartär herausgehoben worden. Auch er besitzt ein mehr oder weniger flaches Gipfelniveau (Abb. 6d), das als Rest einer annähernd horizontalen Kappungsfläche gedeutet wird (Busche et al 2002, 73-74). Es handle sich bei der Gipfelverebnung beider Berge also um Relikte der spättertiären Rumpffläche, die sich trotz Heraushebung und Lösungsprozessen (s.u.) im Salz erhalten hätte. Von der Stimmigkeit dieser Annahme hängt die Argumentation der Autoren ab.

Die feuchtklimatischen Pluvialzeiten des Quartärs dürften nur kurzzeitige Episoden gewesen sein.

Für das ältere (eozäne) Salz (s.o.; vgl. Abb. 4) wurde ein vergleichsweise hoher mittlerer Nettoaufstieg von 10 mm pro Jahr berechnet (Busche et al. 2002, 72). Aber Diapire steigen nach Talbot & Jackson (1987, 79, 82-83) zeitweise aufgrund verschiedener Mechanismen oft schief auf, die eine Seite (bedeutend) schneller als die andere; und diese unterschiedlichen Bewegungen und Aufstiegsraten wechseln mit Zeiten ab, in denen der Salzaufstieg völlig zum Erliegen kommt.[5] Insgesamt gelangen Busche et al. (2002, 72-73) für den Salzdiapir zu einem sehr geringen durchschnittlichen Hebungswert während des Quartärs, und zwar unter der Voraussetzung eines (ariden) Trockenklimas: „Unter der Annahme, dass das aride Klima, das den Salzdiapiraufstieg über seine Umgebung erst ermöglichte, seit mindestens 1 Mio. Jahren herrscht, ergäbe sich eine nur unbedeutende Brutto-(etwa gleich Netto-) Hebungsrate von nur 0,3 mm/a“ – also lediglich 3 Zehntel Millimeter pro Jahr. Das stimmt mit den generellen Salzdiapir-Aufstiegsraten von Talbot & Jackson (1987, 79) überein, die schubweise verlaufen: „Wachstumsperioden, in denen sie für einige Millionen Jahre um 0,1 bis 1 Millimeter pro Jahr empordringen, wechseln mit Phasen völligen Stillstands ab“ (s.o.). Busche et al. (2005, 61) geben einige Millimeter pro Jahr an.

Angesichts derart geringer durchschnittlicher Hebungsraten erklärt tatsächlich allenfalls die Annahme eines langzeitlichen (ariden) Vollwüstenklimas im Quartär, warum das Salz des Kuh-e-Namak nicht aufgelöst wurde. Jedoch zeigen selbst die heutigen Niederschlagswerte, verglichen mit der gegenwärtigen Salzlösungsrate: Obwohl in dieser Trockenregion nur 75 mm Niederschlag pro Jahr fällt (Halbwüstenklima)[6], wurden für die lösungsbedingte Abtragung des Salzbergs Werte zwischen 10 und 12,5 mm pro Jahr errechnet (Busche et al. 2002, 72-73; Busche et al. 2005, 61). Diese große Menge gelösten Salzes übertrifft noch im heutigen regenarmen Halbwüstenklima das Salzvolumen

Glossar

Anhydrit ($CaSO_4$): Wasserfreier → Gips.
Arid: Trocken, regenarm (Vollwüste).
Diapire: → Salzdiapire.
Doline: Einsturztrichter an der Erdoberfläche, hervorgerufen durch Lösung von Kalk, Gips oder/und Salz im Untergrund. → Karst.
Erdfall: → Doline, → Karst.
Gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$): Wasserhaltiger → Anhydrit.
Humid: Feucht, regenreich.
Interpluviale, Interpluvialzeiten: Wüstenhafte Trockenzeiten im Pleistozän der Subtropen (→ Pluviale).
Karst: Oberbegriff für Lösung bzw. Lösungsformen in mehr oder weniger leicht löslichen Gesteinen (Kalk, Gips, Salz). → Doline.
Kevir: Im Iran verwendete Bezeichnung für eine periodisch oder episodisch überschwemmte und austrocknende *Salztonebene* in einem abflusslosen Becken.
Konglomerat: Grobkörniges Ablagerungsgestein; besteht (weitgehend) aus verbackenem, gerundetem Kies.
Metamorphe (= umgewandelte) Gesteine: Gefüge und Mineralbestand dieser Gesteine wurde durch erhöhte Drücke und/oder Temperaturen, z.B. durch Versenkung in die tiefere Erdkruste, mehr oder weniger stark verändert bzw. *umgewandelt*, bevor sie durch Heraushebung an die Erdoberfläche gelangten.
Plattentektonik: Theorie, wonach die Erdkruste und Teile des oberen Erdmantels aus großen und kleineren Platten besteht. Die Platten werden horizontal verschoben (Kontinentalverschiebung), und zwar – wie man annimmt – als Auswirkung wärmebedingter Materialströme (Konvektion) im tieferen Erdmantel. Bei Zusammenstößen zwischen Platten können in der „Knautschzone“ des Kollisionsbereichs Gebirge aus dem Untergrund herausgepresst werden.
Pluviale, Pluvialzeiten: Regenreiche Zeitabschnitte im Pleistozän der Tropen und Subtropen (→ Interpluviale).
Residuum: Unlöslicher Rückstand, Rest.
Rumpffläche: Ausgedehnte Verebnung (Ebene), durch flächenhafte Abtragung (Abspülung) gebildet. Dabei wurde im Bereich der Rumpffläche die Erdoberfläche tiefergelegt.
Salzdiapire (griech. von *diapeirein,* durchstoßen)**, Salzstöcke, Salzmauern**: Rundliche oder mauerartig-langgestreckte, große Salzmassen, die aus der Tiefe aufdringen und dabei überlagernde Gesteine durchstoßen.
Salzgletscher: Sekundäre Folge zeitweise beschleunigter → Salzdiapir-Hebung. Dabei „fließen“ Salzmassen relativ rasch gletscherzungenartig der Schwerkraft folgend seitlich über den Austrittsrand des Diapirs hinaus. Als Gleitmittel dienen geringe Wassergehalte zwischen den Salzkristallen (interkristallines Wasser).
Salzsole: → Sole
Salzspiegel: Oberflächennaher Lösungsbereich, in dem das Salz eines (aufsteigenden) → Salzdiapirs mit grundwasserführenden (Locker-) Sedimenten in Kontakt kommt; auch Salzlösungsfront genannt.
Salztektonik: Störungen bzw. Verstellungen von Schichtfolgen durch Bewegungen des Salzes.
Saprolit (= „verfaultes“ Gestein): Chemisch bedingtes Zersetzungsprodukt von Gestein; Minerale wie Feldspäte und Glimmer und selbst ein Teil des Quarzes sind weggelöst. Saprolit ist dadurch weich und porös; er kann leicht abgetragen werden.
semiarid: halbtrocken (Halbwüste)
Silt (auch **Schluff** genannt): Korngröße zwischen Sand und Ton (0,002 bis 0,063 mm Durchmesser).
Sole: Gesättigte Salzlösung (Salzsole).
Tektonik, tektonisch: Lehre vom Bau, den Bewegungen und Störungen der Erdkruste.

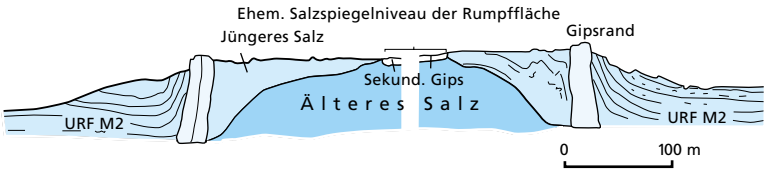


Abb. 5: Ein Salzberg der Großen Kevir-Ebene, der nach Busche *et al. (2002, 71) während des Quartärs ca. 50 m über die Rumpffläche herausgehoben wurde. Im Zentrum das ältere Salz (dunkelblau); randlich das mit hochgeschleppte gebänderte jüngere Salz der Upper Red Formation (URF M2). Der steil gestellte Gipsrand ist ein Lösungsrest (Residuum). Die ausgeprägt ebene Dachfläche des Diapirs wird als herausgehobener Rumpfflächenrest gedeutet, der im Endtertiär im Niveau des Salzspiegels durch flächenhafte Salzlösung entstanden war (s. Text). (Verändert nach* Busche *et al. 2002)*

weit, das während des langzeitlich verstandenen Quartärs jährlich durch die minimale angenommene Hebungsrate des Salzdiapirs hinzukam. Es ist deshalb nicht ersichtlich, wie der Salzdiapir jemals als Berg über die Rumpffläche hätte aufsteigen können bzw. er wäre längst weggelöst worden, wenn man die genannten Hebungsraten von Busche et al. (2002) bzw. Talbot & Jackson (1987) mit der vorausgesetzten Dauer des Quartärs verknüpft und ein dem heutigen vergleichbares Halbwüstenklima voraussetzt.

Das Steinsalz des Kuh-e-Namak enthält nichtlösliche Bestandteile wie Silt und etwas Ton; in stärker verunreinigten Partien 3-3,5%. Als unlösliches Restprodukt (Residuum) bedeckt diese meist 2-3 Dezimeter starke Auflage große Teile des Salzbergs (Busche et al 2005, 61). 10 cm Residuum entsprechen also etwa 3 m gelöstem Salz (Busche et al. 2002, 74-75). Auf der Residuum-Bedeckung können an manchen Stellen bestimmte Pflanzen siedeln, die auch in der umgebenden Halbwüste vorkommen. Für die regenreichen Pluvialzeiten nehmen Busche et al. (2002, 74) an, dass eine relativ dichte Strauch-, Kraut- und Grasvegetation weite Teile des Berges bedeckt hat. Die Autoren sagen aber zurecht, dass „oberflächliche Lösung selbst bei geringen Regenmengen möglich gewesen sein muss". Doch wie wäre dann – angesichts der oben genannten Zahlen – die komplette Auflösung des Salzbergs in *langzeitlich verstandenen* Pluvialen verhindert worden? Gerade durch die feuchtigkeitsbindende Residuum-Auflage wurde der Lösungsprozess noch beschleunigt.

Weiter setzt sich selbst bei den geringen Niederschlägen im heutigen Halbwüstenklima die intensive Verkarstung des Berges durch Einbrüche mit freigelegtem Salz fort: Nahezu alle Erdfälle sind jung und ohne Residuum-Auflage. Der gesamte Berg ist „durch einen extremen Lösungsdolinenkarst geprägt"; vermutlich bahne sich ein künftiger „Zusammenbruch des Salzbergs durch innere Lösung" an. Bei jedem stärkeren Regen werden von den Berghängen größere Residuum-Mengen als Schlammströme in senkrechte Lösungstrichter im Salz gespült; der Schlamm füllt große Hohlräume im Inneren des Berges aus (Busche et al. 2002, 76).[7] Dies setzt voraus, dass sich das Residuum oft erneuert, was wiederum die erhebliche Salzlösung an der Oberfläche des Berges bestätigt. Deshalb müssen in der Tat die Interpluvialzeiten – wenn man sie als langzeitlich auffasst – erheblich trockener gewesen sein als das heutige Halbwüstenklima mit 75 mm Niederschlag pro Jahr. Vielleicht waren sie aber auch (in Analogie zu den Pluvialen; s.u.) kürzer als gemeinhin angenommen – sonst hätte angesichts dieser zerstörenden Lösungsvorgänge der Kuh-e-Namak wohl kaum entstehen bzw. erhalten bleiben können.

Aber das eigentliche Problem für eine Deutung der Salzbergentstehung im Langzeitrahmen sind die ausgeprägten Regenzeiten. Sie belegen eine erneute „Humiditätszunahme", nämlich „in den Pluvialzeiten des Quartärs" (Busche et al. 2002, 71). Unter Pluvialen versteht man regenreiche Perioden während des Pleistozäns (Tab. 1), die in den Tropen und Subtropen für große Niederschläge sorgten.[8] Selbst in der heute größten und trockensten Wüste der Erde, der Sahara, fand der Wechsel von feuchtwarmen Pluvial- und wüstenhaften Interpluvialzeiten statt; Busche (2005, 78-79) nimmt für die Sahara drei Pluviale an.[9] Das führte dort z.B. zur Entstehung großer Flussnetze und ausgedehnter Seen (Busche 1998, 84-105).

Dieser Befund hat erhebliche Konsequenzen für die Rumpffläche der Großen Kevir im Iran. Wie auch Busche et al. (2005, 61) *ausdrücklich zum Salzberg Kuh-e-Namak* äußern, war nach dem sehr feuchten Tertiär-Klima „jeweils in den pleistozänen Pluvialzeiten zeitweilig wieder Lösung im Grundwasserniveau möglich". Dann ist selbst bei Heraushebung des Salzbergs in den wüstenhaften Interpluvialzeiten kaum verständlich, wieso er in den *langzeitlich* verstandenen Pluvialen nicht komplett aufgelöst wurde. Das Ausmaß der Niederschläge wird bereits deutlich, wenn man *nur eines* der pluvialzeitlichen Sahara-Flusssysteme betrachtet. Es hat einen „riesigen Schwemmfächer" aufgeschüttet, der „über 300 km weit verfolgbar ist" (Baumhauer et al. 1989, 496). Zur Zeit seiner Entstehung „müssen intensiv pluviale Bedingungen geherrscht haben" (Busche 1998, 99; vgl. 95-105). Es war also eine sehr regenreiche Episode; die von der Zentralsahara nach Norden gerichteten Flusssysteme erreichten das Mittelmeer (Busche 2005, 17). Es dürfte kaum möglich sein, die Folgerung zu vermeiden, dass in den regenreichen, *langzeitlich verstandenen* Pluvialen der Salzberg komplett aufgelöst worden wäre. Das wird am Schluss des nächsten Abschnitts auch anhand der Verebnungsflächen am Kuh-e-Namak herausgestellt.

Von Flächen- zu Talbildung – gleiche Ursache bei Gestein und Salz?

Zunächst wird in diesem Abschnitt erklärt, warum die Entstehung des *Salz*bergs Kuh-e-Namak nicht

mit der Bildung von Bergen und Berghängen in (gewöhnlichen) *Gesteinen* vergleichbar ist.

Zum Verständnis ist folgende Beobachtung wichtig: Mit dem Nachlassen und Ausklingen der Tiefenzersetzung des Gesteins (Saprolitbildung) im Endtertiär (s.o.) verengte sich weltweit die Abtragung zunehmend auf kleinere Flächen. Der Grund ist: Nach der weitgehenden Abspülung des *weichen* Zersetzungsprodukts Saprolit waren die erosiven Kräfte des fließenden Wassers immer weniger in der Lage, ausgedehnte *Ebenen* zu bilden bzw. die im Tertiär entstandenen Ebenen konnten nicht mehr durch flächenhafte Abspülung tiefergelegt werden (s.o.). Zunehmend war es den Abtragungskräften nur noch möglich, sich *linear* ins Gestein einzuschneiden, also Täler auszuräumen und flache Hänge zu versteilen (Boldt 1997; 1998; Boldt et al. 2002; Busche et al. 2005, 18-31; vgl. Stephan 2006, 73-74). Als Ergebnis wurde ein immer ausgeprägteres Landschaftsrelief herauspräpariert. Weltweit beobachtet man also im Verlauf des Tertiär und Quartär, wie es Bremer (2002, 32) ausdrückt, „eine generelle Zunahme der Reliefierung".

Unzutreffend dürfte sein, dass Busche et al. (2002, 74) diesen Prozessablauf auf die Bildung eines *Salz*bergs wie den Kuh-e-Namak übertragen. Die Autoren postulieren, die Salzlösung hätte – aus unbekannten Gründen, wie betont wird – am Kuh-e-Namak immer weniger gewirkt. Denn die einmal über das Lösungsniveau des Salzspiegels herausgehobenen Salzbereiche seien der flächenhaften Abtragung zunehmend entzogen gewesen. Deshalb habe sich der Fuß des Berges beim Herausheben immer mehr verbreitert.

Jedoch werden hier nicht vergleichbare Prozesse miteinander parallelisiert. Zwar kann die flache Oberfläche *gewöhnlicher Tafelberge* vor weiterer Abtragung weitgehend verschont bleiben, wenn – wie erwähnt – nach Abspülung des zersetzten Gesteins die Erosion sich auf tiefere Niveaus beschränkt (u.a. Talbildung und Hang-Versteilung). *Anders jedoch bei Salzbergen;* wie im vorigen Abschnitt beschrieben geht selbst im heutigen Halbwüstenklima die Erniedrigung des Berges durch Salzlösung auf der *gesamten Oberfläche* (und ebenso im Berginneren) weiter. Gleichfalls wurde darauf hingewiesen, dass noch in der Gegenwart die Lösungsmengen erheblich die Salzmengen übertreffen, die durch die Aufstiegsrate des Diapirs hinzukommen. Dass dennoch nach dem Altquartär der Salzaufstieg insgesamt die Lösung übertraf und der Salzberg erhalten blieb, dürfte sich am ehesten mit der Annahme *kurzzeitiger* Pluviale erklären – es ist kaum ersichtlich, wie der Kuh-e-Namak sonst der kompletten Auflösung hätte entgehen können.

Es ist auch kein plausibler Grund erkennbar, wieso es – ausgerechnet angesichts der sehr feuchten quartären Pluvialzeiten – „Schwellenwerte" der Salzlösungsintensität gegeben habe, die eine stärkere Auflösung des Kuh-e-Namak verhindert hätten (Busche et al. 2002, 74).[10] Denn Salzlösung ist nicht klimaabhängig wie (wahrscheinlich) die Zersetzung des Gesteins (vgl. z.B. Borger 2000, 106-187; Boldt et al. 2002, 96-107). Es mag (auch) klimatische Gründe haben, dass die Zersetzung von Gestein sich in den feucht-warmen Pluvialen des Quartärs praktisch nicht fortsetzte (s.o.), aber die Salzlösungsintensität des Wassers ist davon nicht betroffen.

In den Pluvialzeiten des Quartärs war nicht wie heute die *Oberfläche* des Berges und das inzwischen zerklüftete (verkarstete) *Berginnere* am stärksten durch Lösung betroffen (s.o.), sondern der Fuß des Kuh-e-Namak. Am Bergfuß sind während verschiedener Stillstände des Salzaufstiegs (vgl. Talbot & Jackson 1987, 79; s. vorigen Abschnitt) jeweils größere oder kleinere Flächenverebnungen gebildet wurden (Busche et al. 2005, 61). Die Autoren vermuten, dass der ausgeprägteste Flächenteil

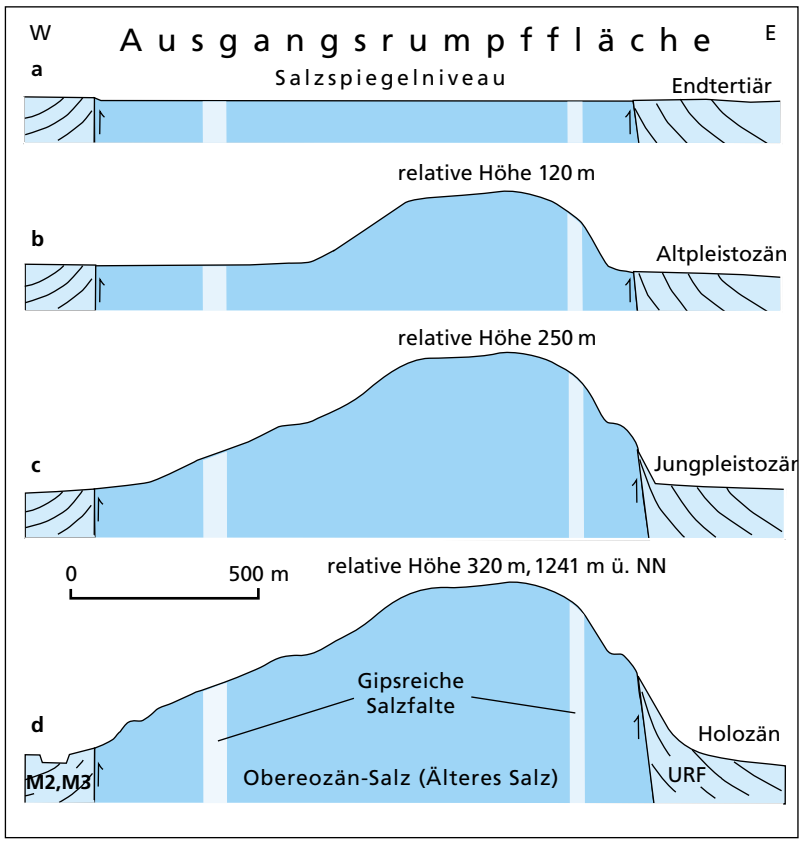


Abb. 6: Phasen der Reliefentwicklung des aufsteigenden Salzbergs Kuh-e-Namak nach Busche et al. (2002). Beidseitig ist die durch Faltung senkrecht gestellte salzige Gipszone markiert (hell). ***a*** *Bis zum Endtertiär verhinderte die im niederschlagsreichen Klima wirksame Salzlösung im Niveau der Rumpffläche (Salzspiegel) ein Herausheben des Diapirs.* ***b*** *Erst im vergleichsweise weniger feuchten Quartär-Klima konnte sich das Salz als Bergform über die Rumpffläche erheben, obgleich sich im Altpleistozän (Frühquartär) im Rumpfflächen-Niveau bei einer Hebungs-Verzögerungsphase seitlich noch eine relativ ausgedehnte lösungsbedingte Verebnung bildete.* ***c*** *Bei geringer werdender Salzlösung infolge abnehmender Niederschläge verbreiterte sich die herausgehobene Basis des Bergs; ein Teil der genannten Verebnung blieb als Stufe bei den weiteren Aufstiegsphasen im Jungpleistozän (Spätquartär) erhalten.* ***d*** *Bis zur vollständigen Heraushebung in der Jetztzeit (Holozän) ist die treppenartige Stufe im Salz erkennbar, und es bildeten sich in tieferen Niveaus weitere kleine Lösungs-Treppungen (links). Neben dem Salzberg die hochgeschleppten Schichtfolgen der Upper Red Formation (URF M2, M3). (Verändert nach Busche et al. 2002)*

bei einer Hebungs-Verzögerungsphase im Altpleistozän herausgelöst wurde (Busche et al. 2002, 72-74). Diese größere Fläche wie auch die späteren Kleinflächen entstanden, als zu verschiedenen Zeiten der Aufstieg des Diapirs erlahmte und der Kuh-e-Namek von der Rumpffläche her seitlich viel intensiver angelöst werden konnte (vgl. Abb. 6b). Bei nachfolgenden Hebungs-Episoden blieben die zuvor gebildeten Lösungsflächen als treppenartige Relikte an den Berghängen erhalten (vgl. Abb. 6c-d). Wichtig ist, dass diese herausgehobenen Flächenreste – trotz weitergehender Lösung auf der Oberfläche des Salzberges (s.o.) – noch recht gut erhalten sind (Busche et al. 2002, 73-74).

Dieser Tatbestand zeigt, dass die einstige Lösung im Salzspiegelniveau der Rumpffläche eine sehr ausgeprägte Formung hinterließ. Diese Formen blieben trotz späterer Überprägung durch Oberflächenlösung gut erkennbar. Daraus kann man schließen, dass ihre Entstehung auf *erheblich intensiver verlaufende Lösungsphasen im Pleistozän zurückgeht als die Prozesse auf der Oberfläche* des Berges.[11] Neben den oben genannten Problemen zeigt auch dieser Befund, dass der Schluss kaum zu umgehen sein dürfte: Bei *langzeitlichen* Hebungsstillständen in den Pluvialen wäre der Kuh-e-Namak im Niveau der Rumpffläche komplett weggelöst worden.

Lösungsvorschlag: Kurzzeitige feuchte Pluviale

Wenn die feuchten Pluvialzeiten des Quartärs erheblich kürzer waren, sollte auch der Aufstieg der Salzdiapire bedeutend schneller erfolgt sein als herkömmlich angenommen wird (s.o.). Ob das der Fall gewesen sein kann unter der Annahme, dass die mächtigen Sedimentfolgen über den ursprünglich horizontal gebildeten Salzlagern (vgl. Abb. 3) in erheblich kürzerer Zeit aufgeschichtet wurden, müsste untersucht werden. Rascher Salzaufstieg ist von der Masse der Überlagerung (Druck) abhängig. Im Labor hat man Salz durch höheren Druck zu schnellerem Kriechen veranlasst (Talbot & Jackson 1987, 79). Es fragt sich, wie Salz auf schnellere Druck*zunahme* infolge rasch zunehmender Sediment-Auflast reagiert. Vielleicht ist aber wichtiger, dass nach Talbot & Jackson (1987, 84) bereits 0,1 Gewichtsprozent Wassergehalt im Salz für eine viel schnellere Salzbewegung genügt: Demnach sollte die raschere Salzmobilität durch geringe Mengen Wasser zwischen den Salzkristallen des Diapirs (interkristallines Wasser) „keineswegs auf Salzgletscher beschränkt sein, sondern auch in den Salzstöcken in der Tiefe stattfinden“ (vgl. Anm. 5). Und wenn es zutrifft, dass die meisten Salzdiapire sich im späteren Verlauf ihres Aufstiegs „quasi festzufressen“ scheinen, weil der Auftrieb zu gering geworden ist (Talbot & Jackson 1987, 84), fragt es sich, ob der früher stärkere Auftrieb eine viel schnellere Hebung der Diapire bewirkt hat, der die starke Salzlösung der Pluvialzeiten mehr als ausglich.[12] Passend wäre im Rahmen eines Kurzzeitverständnisses der Tatbestand, dass ein rascher Salzaufstieg *nicht über lange Zeiträume* funktioniert hätte. Denn dann wären die Salzlager im Untergrund rasch aufgebraucht worden („Nachschubproblem“); das hätte zum baldigen Erlahmen des Auftriebs geführt.

Es ist kaum denkbar, wie der Aufstieg des Salzes über das Niveau der Rumpffläche während der regenreichen Pluvialzeiten möglich war, falls es sich dabei um *lange Perioden* gehandelt hätte. Wenn das Trockenklima, das den Salzdomaufstieg über seine Umgebung erst ermöglichte, seit mindestens 1 Million Jahren herrscht (Busche et al. 2002, 72-73; s.o.), steht das in kaum vereinbarem Gegensatz zu den Regenzeiten des Quartärs. Busche et al. (2005, 61-62) äußern selbst *ausdrücklich bezüglich des Kuh-e-Namak,* dass „jeweils in den pleistozänen Pluvialzeiten zeitweilig wieder Lösung im Grundwasserniveau möglich war“, und dass die Salzlösungsfront „im Niveau eines *pluvialzeitlich* hohen Grundwasserspiegels“ lag. Dieser Widerspruch dürfte sich nur bei Annahme zeitlich sehr begrenzter regenreicher Pluvial-*Episoden* lösen – sie waren zu kurz, um den Salzberg komplett wegzulösen.

Zwischen den regenreichen Pluvialen lagen (aride) Interpluvialzeiten, also Trockenzeiten mit Wüstenbildung. Für die Sahara zeigt Busche (1998, 69, 176-200 u.a.), dass die Interpluviale zum Teil noch extremer waren als das heutige Sahara-Klima. Das gilt für fossile Windschliff- und Dünenformen, die gegenwärtig in dieser enormen Größe und geographischen Ausdehnung nicht mehr gebildet werden (Busche 2005, 32-35). Sie gehen auf viel gewaltigere Stürme als die heutigen zurück (vgl. Baumhauer et al. 1989, 496). Aber nur die Windgeschwindigkeiten seien größer als heute gewesen, nicht die Trockenheit (Busche et al. 2005, 334; vgl. 324-337). Für den Aufstieg des Kuh-e-Namak werden die trockenen Interpluvialzeiten die günstigsten Episoden gewesen sein. Allerdings nur, wenn sie *ausgeprägt arid* waren (Vollwüstenklima) – sonst hätten selbst sie der Salzlösung ebenso Vorschub geleistet wie heutzutage das Halbwüstenklima im Zentraliran (s.o.).

Fazit: Unter der Voraussetzung langzeitlicher, feuchter Pluviale (so Busche et al. 2002) erscheint die Erhaltung des Kuh-e-Namak praktisch ausgeschlossen. Vielmehr dürften die Pluviale zeitlich sehr begrenzte *Episoden* gewesen sein; sie waren zu kurz, um zur Auflösung des Salzbergs zu führen (man kann wahrscheinlich von einem mehrstelligen Zeitreduktionsfaktor ausgehen; genauere Angaben sind derzeit nicht möglich).[13]

Literatur

BAUMHAUER R, BUSCHE D & SPONHOLZ B (1989) Reliefgeschichte und Paläoklima des saharischen Ost-Niger. Geograph. Rdsch. *41*, 493-499.

BOLDT K (1997) Entwicklung von Schichtstufenlandschaften durch restriktive Flächenbildung – das Beispiel der fränkischen Haßbergstufe und ihres westlichen Vorlandes. Petermanns Geograph. Mitt. *141*, 263-278.

BOLDT K (1998) Das Modell der restriktiven Flächenbildung – ein Ansatz zur Erfassung von Regeln der Landschaftsgenese im Bereich wechselnd widerständiger Sedimentgesteine. Z. Geomorph. NF *42*, 21-37.

BOLDT K-W (2001) Känozoische Morphogenese im nordöstlichen Mainfranken. Formung im globalen Wandel des klimatisch-strukturellen Wirkungsgefüges. Würzburger Geograph. Arb. *96*, 1-405.

BOLDT K-W, JUNG J & BUSCHE D (2002) Verwitterung und Sedimente als Indikatoren der tertiären Reliefentwicklung. Vergleichende Studien im nordöstlichen Mainfranken und im Spessart. Trierer Geograph. Studien *25*, 91-114.

BORGER H (2000) Mikromorphologie und Paläoenvironment. Die Mineralverwitterung als Zeugnis der cretazisch-tertiären Umwelt in Süddeutschland. Relief – Boden – Paläoklima, Bd. *15*. Berlin-Stuttgart: Borntraeger.

BRANDT M (2006): Wie alt ist die Menschheit? Demographie und Steinwerkzeuge mit überraschenden Befunden. 2. Aufl. Baiersbronn: Hänssler.

BREMER H (1989) Allgemeine Geomorphologie. Methodik – Grundvorstellungen – Ausblick auf den Landschaftshaushalt. Berlin-Stuttgart: Borntraeger.

BREMER H (2002) Reliefgenerationen in den feuchten Tropen. Petermanns Geograph. Mitt. *146*, 26-33.

BREMER H (2003) Morphogenese im Dekkan. Boden – Relief – Paläoklima, Bd. *18*. Berlin-Stuttgart: Borntraeger, 279-511.

BREMER H, mit Beiträgen von SPÄTH H, SANDER H, LAUFENBERG M & KREUTZWALD H (1995) Boden und Relief in den Tropen. Grundvorstellungen und Datenbank. Relief – Boden – Paläoklima, Bd. *11*. Berlin-Stuttgart: Borntraeger.

BUSCHE D (1998) Die zentrale Sahara. Oberflächenformen im Wandel. Perthes Geographie im Bild. Gotha: Perthes.

BUSCHE D (2002) Literaturempfehlungen: Reliefgeschichte. Petermanns Geograph. Mitt. *146,* 64-67.

BUSCHE D (2005) Nasse und trockene Reliefgeschichte der zentralen Sahara. Klima- und Formungswandel im Quartär./Vom feuchttropischen Klima im Tertiär zu den Pluvialen und Interpluvialen des Quartär. In: DREIKLUFT R (Hg) Die Sahara. Natur und Geschichte. Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft, 16-109.

BUSCHE D, KEMPF J & STENGEL I (2005) Landschaftsformen der Erde. Bildatlas der Geomorphologie. Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft/Primus.

BUSCHE D, SARVATI R & SIEFKER U (2002) Kuh-e-Namak: Reliefgeschichte eines Salzdoms im abflusslosen zentraliranischen Hochland. Petermanns Geograph. Mitt. *146,* 68-77.

DAVIS WM & RÜHL A (1912) Die erklärende Beschreibung der Landformen. Leipzig-Berlin: Teubner.

EISSMANN L (1997) Die ältesten Berge Sachsens oder die morphologische Beharrlichkeit geologischer Strukturen. Altenburger Naturwiss. Forsch. *10,* 7-56.

ENGELHARDT W v & ZIMMERMANN J (1982) Theorie der Geowissenschaft. München etc.: Schöningh.

FELIX-HENNINGSEN P (1990) Die mesozoisch-tertiäre Verwitterungsdecke (MTV) im Rheinischen Schiefergebirge. Aufbau, Genese und quartäre Überprägung. Relief – Boden – Paläoklima, Bd. *6*. Berlin-Stuttgart: Borntraeger.

GOULD SJ (1990) Die Entdeckung der Tiefenzeit. Zeitpfeil und Zeitzyklus in der Geschichte unserer Erde. München-Wien: Hanser.

ROHDENBURG H (1983) Beiträge zur allgemeinen Geomorphologie der Tropen und Subtropen. Geomorphodynamik und Vegetation – Klimazyklische Sedimentation – Panplain/Pediplain – Pediment – Terassen-Treppen. Catena *10*, 393-438.

ROTHE P (2005) Die Geologie Deutschlands. 48 Landschaften im Portrait. Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft/Primus.

SCHWARZBACH M (1988) Das Klima der Vorzeit. Eine Einführung in die Paläoklimatologie. 4. Aufl. Stuttgart: Enke.

STENGEL I (2002) Alte Verwitterung – junge Folgen: Reliefgenese in Südnamibia. Petermanns Geograph. Mitt. *146*, 16-23.

STEPHAN M (2006) Die Landschaftsformen – unter anderen als heutigen Bedingungen entstanden. Stud. Int. J. *13,* 73-77.

TALBOT CJ & JACKSON MPA (1987) Salz-Tektonik. Spektrum der Wissenschaft, Oktober, 76-86.

WIRTHMANN A (1994) Geomorphologie der Tropen. 2. Aufl. Erträge der Forschung, Bd. *248*. Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft.

ZIEGLER R (1999) Urmenschen. Funde in Baden-Württemberg. Stuttgarter Beitr. Naturk. *C 44,* 1-79.

Anmerkungen

1 Das Folgende wird vor allem im Anschluss an BUSCHE et al. (2002) beschrieben und diskutiert.

2 Von der Stadt *Qom* (Suchbegriff!) ausgehend, ist der Kuh-e-Namak leicht im (kostenlosen) Internet-Geographie-(Geomorphologie-)Programm *Google Earth* zu finden. Deutlich erkennbar sind in der Umgebung des Berges gebänderte Formationen (vgl. Abb. 4 und 5), gekappte Faltenstrukturen sowie in Horizontal-Perspektive – wenn auch schematisch! – die Form des Berges mit dem abgeflachten Gipfelniveau und der größeren Verebnung (vgl. Abb. 6).

3 Damit ist das Prinzip des Aktualismus für diese Thematik zumindest in seiner strengen Form aufgegeben. Dieses regulative Prinzip der Geowissenschaften (ENGELHARDT & ZIMMERMANN 1982, 350-355) besagt, dass die heutigen Bedingungen auf der Erde *im Wesentlichen* auch für die Erdvergangenheit gültig seien. Bezüglich der Rumpfflächenbildung im Alttertiär betont jedoch BREMER (2002, 26), dass „für die alttertiären Verhältnisse der aktualistische Vergleich nicht möglich ist". Das Aktualismus-Problem wird z.B. von GOULD (1990, 170-194) systematisch untergliedert und diskutiert, was hier nicht erörtert werden kann.

4 Die Transport- bzw. Verfrachtungsrichtung aus der Großen Kevir-Ebene, bevor sie abflusslos wurde, ist nach BUSCHE et al. (2002, 71-72) nicht völlig klar; es sei aber nur der Süden möglich: In angrenzende Sedimentbecken oder weiter bis ins Meer (BUSCHE et al. 2005, 147).

5 Seit dem Miozän läuft nach TALBOT & JACKSON (1987, 84-86) infolge größeren Drucks, ausgelöst durch plattentektonische Aktivität, der Salzaufstieg im Zagrosgebirge (Südiran) merklich beschleunigt ab. Dagegen handelt es sich bei horizontalen Salzbewegungen der dortigen Diapire um sog. Salzgletscher; sie sind eine sekundäre Folge der Salzdiapir-Erhebung. Dabei „fließt" (gleitet) das Salz mit Hilfe von Wasser zwischen den Salzkristallen (interkristallines Wasser) als Gleitmittel – offenbar nach seltenen Regenfällen – der Schwerkraft folgend seitlich über den Austrittsrand hinaus, und zwar kurzfristig um bis zu einem halben Meter pro Tag (BUSCHE et al. 2002, 73). Auch der Kuh-e-Namak soll einen Salzgletscher besitzen (so TALBOT & JACKSON 1987, 85); dies weisen jedoch BUSCHE et al. (2002, 73) aufgrund von Geländebefunden als nicht belegbar zurück.

6 Zum Vergleich: Im *extrem trockenen* Vollwüstenklima der zentralen Sahara beträgt heute der Niederschlag zwischen 0 und ca. 17 mm/Jahr; der maximale Wert wird nur von der Station Tamanrasset (Südalgerien) in der südlichen Zentralsahara im August/September durch schwache Ausläufer des tropischen Monsunregens erreicht (BUSCHE 1998, 9).

[7] Busche et al. (2002, 75-76) versuchen, zwischen Endtertiär und Gegenwart 4 Karstgenerationen zu unterscheiden; das muss hier nicht im Einzelnen diskutiert werden.

[8] Wichtig ist, dass nur bezüglich hoher Breiten und nur für bestimmte Zeiten das Pleistozän als *Eiszeit* bezeichnet werden kann (Tab. 1; vgl. Busche 2005, 79). Ferner geht man davon aus, dass die pleistozänen Pluvial- und Interpluvialzeiten in den Tropen und Subtropen nicht mit den Warm- und Kaltzeiten der hohen geographischen Breiten synchron verlaufen sind (Busche 1998, 69; vgl. Schwarzbach 1988, 224-226, 238).

[9] Zumindest das letzte Pluvial hat es in allen Wüsten der Erde gegeben (so Busche 2005, 26).

[10] Nach Busche et al. (2002, 74) habe es „offenbar Schwellenwerte" gegeben, „bei deren Unterschreitung jeweils ein weiterer Teil des Diapirs aus der Flächenbildung herausfiel, weil der Lösungsabtrag – warum auch immer – weniger Effektiv als in seiner Umgebung war". Doch worin solche Schwellenwerte begründet sein sollen, wird nicht gesagt.

[11] Vielleicht konnten zurzeit dieser starken pluvialen Lösungsschübe die Salzsolen aus der Großen Kevir-Ebene noch oder erneut abfließen. Busche et al. (2002, 71) erwägen die Hypothese, dass sich die endgültige Abflusslosigkeit der Ebene erst im Laufe des Pleistozäns entwickelt habe.

[12] Die Hebungsgeschwindigkeit der meisten Diapire der Großen Kevir-Ebene scheint geringer gewesen zu sein als das des Kuh-e-Namak; sie wurden im Niveau der Rumpffläche gelöst (s. Text). Hier übertraf die Lösungsrate die Hebungswerte.

[13] Hier wird *ausschließlich dieser Aspekt* quartärer Geomorphologie behandelt; zahlreiche andere geowissenschaftliche Probleme, die Zeitfragen des Pleistozäns betreffen, bleiben möglichen späteren Bearbeitungen vorbehalten. Dieser Methodik folgt zu recht auch Brandt (2006), der sich ausschließlich auf zwei Themen konzentriert, die menschliche Bevölkerungsentwicklung und die Anzahl der altsteinzeitlichen Werkzeuge. Die Altsteinzeit (Paläolithikum) umfasst den weitaus größten Teil des Quartär (z.B. Ziegler 1999); jedoch sind die Werkzeugmengen „im konventionellen Zeitrahmen um einen etwa vierstelligen Faktor zu niedrig" (Brandt 2006, 146). Beide Aspekte führen zu dem Schluss, dass die (quartäre) Menschheitsgeschichte statt der radiometrisch datierten 2 Millionen Jahre „nur einige Tausend Jahre gedauert haben" dürfte (149). – Zur wissenschaftstheoretischen Rechtfertigung dieser Methodik vgl. M. Stephan: Entgegnung auf einige Aspekte der Kritik an der biblisch-urgeschichtlichen Geologie; www.wort-und-wissen.de/artikel/a01/a01/pdf, 41-54.

Fleckige Flügel für Fruchtfliegen

Evolution komplexer Eigenschaften: veränderte Regulation oder echter Neuerwerb?

Niko Winkler, Rosenbergweg 29, Baiersbronn

***Zusammenfassung*: Verschiedene Fruchtfliegenarten haben unterschiedliche Flügelmuster. Bisher fraglich war, wie diese Muster entstehen; insbesondere dann, wenn nahe verwandte Arten nur durchsichtige, ungemusterte Flügel besitzen. Es konnte gezeigt werden, dass kleine genetische Änderungen in den Regulationsbereichen eines farbgebenden Gens dafür verantwortlich sind. Die grundsätzliche Frage nach der Entstehung der zugrunde liegenden regulativen Netzwerke wird dadurch allerdings nicht beantwortet.**

Die Regulation von Farbigkeit

Das Aussehen von Organismen wird unter anderem von ihren Genen kontrolliert. So sind beispielsweise Wellensittiche in ihrer australischen Heimat normalerweise grün. Ihre Federn enthalten sowohl einen blauen als auch einen gelben Farbstoff. Fällt Blau aus, so erscheinen die Tiere gelb, fällt Gelb aus, so erhalten wir blaue Wellensittiche. Daneben sind die dunklen Federn mit einem weiteren Farbstoff, Melanin, farblich abgesetzt. Beim Ausfall aller drei Farben erhält man reinweiße Tiere. Die Veränderung solcher Farbmuster ist in der Natur jedoch eher selten auf einen Totalausfall (Verlustmutation) zurückzuführen. Meistens sind die Farb- oder Musterabänderungen graduell und gehen auf eine räumlich veränderte Gen-Ausprägung zurück.

Man kann, in vereinfachter Form, Verlust- und Regulationsmutanten des Farbstoffs Melanin bei Wirbeltieren an deren Augen unterscheiden: Echte Albinos können überhaupt kein Melanin mehr produzieren und haben daher auch rote Augen (Verlustmutante). Bei Tieren mit schwarzen Augen, aber weißen Federn oder Fell ist lediglich die Melaninproduktion in den Federn bzw. im Fell herunterreguliert oder abgeschaltet (Regulationsmutante). Ein bekanntes, ja fast schon berühmtes Beispiel für eine Genregulation der Melaninproduktion ist der Birkenspanner. Es handelt sich hier um einen Falter, dessen Flügel normalerweise eine weiße Grundfarbe haben und mit braunen Flecken besprenkelt sind. Es sind aber auch völlig schwarze

Stud. Int. J. 14 (2007), 20-25

Formen sowie alle Übergänge von hell nach dunkel beschrieben worden (Eckstein 1930). Auch wenn der genetische Mechanismus in diesem Fall nicht bekannt ist, so ist doch zu vermuten, dass es sich „lediglich“ um eine jeweils veränderte „Schalterstellung“ für braune Flecken handelt, angefangen von kleinen Einsprengseln bis hin zu zusammenfließenden Flecken, die alles Weiß abdecken. Das für die Farbausprägung verantwortliche Gen kommt also in verschiedenen Ausprägungen vor. Diese Varianten nennt man Allele und demzufolge spricht der Biologe bei einer Häufigkeitsänderung bestimmter Farbtypen von Allelfrequenzverschiebung.

Flügelflecken bei Fruchtfliegen

Ein beliebtes Untersuchungsobjekt für solche genetischen Fragestellungen sind die Fruchtfliegen wie *Drosophila melanogaster* und ihre verwandten Arten. Glücklicherweise haben *Drosophila*-Arten nicht nur Unterschiede in den Flügelmustern, sondern sind genetisch auch hervorragend untersucht. Die Flügel der Fliegenmännchen sind häufig auffällig gefärbt (Abb. 1). Diese Färbung spielt beim Werben um Weibchen eine Rolle, denn die Männchen umwerben die Fliegen-Weibchen vor der Begattung mit einem komplexen Brauttanz. Dabei wedeln sie unter anderem mit ihren Flügeln „vor der Nase“ der Weibchen herum, um auf sich aufmerksam zu machen. Die Flügel der Weibchen hingegen sind meist weniger prächtig oder sogar nur einfarbig. Nahe verwandte Arten haben zum Teil deutlich unterschiedliche Flügelmuster. Dies nutzten Forscher, um Licht in die Entstehung verschiedener Flügelmuster zu bringen.

Unterschiedliche Muster entstehen zuerst einmal durch unterschiedliche Genaktivitäten, die durch sogenannte *cis*- und *trans*-Elemente reguliert werden (siehe Kasten). Bei den Flügeln der Fruchtfliegen bestimmt die Menge eines Proteins mit dem Namen *Yellow* die Färbung. „Yellow“, weil der Ausfall des Proteins helle Fliegen entstehen lässt, die gelblich aussehen. Wenig Yellow in den Flügeln ergibt helle Stellen, viel Yellow dunkle Stellen. Die Menge an Yellow wird eben über besagte *cis*- und *trans*-Elemente gesteuert. *cis*-Elemente liegen dabei direkt vor dem jeweiligen Gen und steuern dieses durch die unterschiedliche Anbindung von *trans*-Elementen. *Trans*-Elemente wirken auf viele verschiedene Gene gleichzeitig. Schon lange wurde vermutet, dass gestaltliche Änderungen mit veränderten *cis*-Elementen einhergehen, denn Veränderungen in diesen Elementen betreffen in der Regel nur das von ihnen gesteuerte Gen. Solche Veränderungen sind daher weniger schädlich als die Veränderung von *trans*-Elementen, die eine Vielzahl von verschiedenen Genen steuern. Es gibt jedoch nur eine geringe Anzahl von wissenschaftlichen Arbeiten, die diese Fragen im Detail angehen. Daher war es lange Zeit unbekannt, ob die Evolution neuer gestaltlicher Eigenschaften (hier die Färbung) tatsächlich durch die Veränderung bestehender oder die Entwicklung neuer *cis*-Elemente geschieht. Unverstanden war weiterhin, wieviel Änderungen in einem regulatorischen Element notwendig sind, um ein neues Muster zu erzeugen.

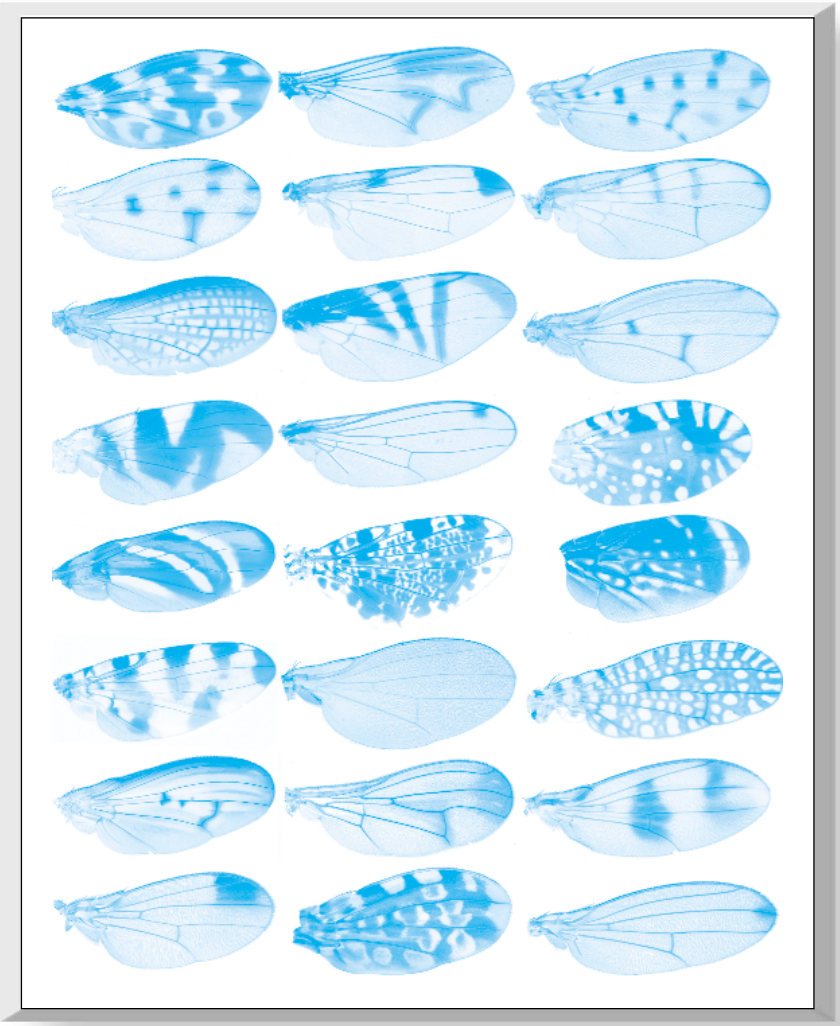


Abb. 1: Eine Zusammenstellung von Flügeln verschiedener Fruchtfliegen-Arten. Die Färbungen spielen beim Brauttanz der Männchen eine wichtige Rolle, die ihre Flügel den Weibchen präsentieren. (© Nicolas Gompel, Abdruck mit freundlicher Genehmigung)

Um diese Fragen anzugehen, untersuchten Gompel und Kollegen (Gompel et al. 2005) die nahe verwandten Fruchtfliegen *D. melanogaster*, *D. biarmipes* und *D. pseudoobscura*. Dabei besitzt nur *D. biarmipes* einen Flügelfleck auf der Spitze (Abb. 2), die beiden anderen Arten haben einfarbig durchsichtige Flügel (Abb. 1, 6. Zeile, Mitte). Die Forscher konnten bestätigen, dass in *D. biarmipes* (mit Flügelflecken) dort, wo später der Flügelfleck sein wird, während der Flügelentwicklung viel Yellow zu finden war. In den Arten mit durchsichtigen Flügeln war nur eine gleichmäßig verteilte, geringe Menge an Yellow zu finden. Um nun herauszufinden, ob die unterschiedlichen Flügelmuster der beiden Arten auf Veränderungen der *cis*- oder *trans*-Elemente zurückzuführen sind, fügten die Forscher die regulatorische Region des *yellow*-Gens von *D. biarmipes* (mit Flecken) in *D. melanogaster* (Fliege ohne Flügelflecken) ein. In der Tat entsprach nun

Regulation von Genen

Soll ein Protein von einem bestimmten Gen hergestellt werden, so muss erst eine Kopie („Blaupause“) vom Gen erstellt werden. Die Kopie („mRNA“) geht dann in die Protein-Produktion („**Translation**“). Je mehr solcher Gen-Kopien erstellt werden, um so mehr Protein kann produziert werden. Über diesen Schritt werden viele Gene reguliert, doch was legt die Kopienzahl fest? Gene lassen sich, grob vereinfacht, in zwei Abschnitte unterteilen: Eine Region, die für das herzustellende Protein selbst kodiert und eine davor liegende Region, die eine Steuerungsfunktion hat. Der Abschnitt mit der Steuerungsfunktion wird **Promoter** genannt. Der Promoter enthält bestimmte Abfolgen von DNA-Bausteinen, die von speziellen Proteinen, den **Transkriptionsfaktoren**, erkannt werden. Erst wenn ein solcher Transkriptionsfaktor an die DNA gebunden hat, kann in Folge das Enzym, welches für die Kopienherstellung notwendig ist, an die DNA andocken und eine Genkopie erstellen („**Transkription**“). Die Stärke der Bindung von Transkriptionsfaktoren an die DNA bestimmt über die Häufigkeit der Kopienherstellung: Bindet der Faktor gut, so können viele Kopien erstellt werden, bindet der Faktor schlecht, so kommt das Kopier-Enzym nur selten zum Zug. Mutationen im Promoter beeinflussen die Bindungsstärke des Transkriptionsfaktors und damit letztlich, wie häufig das Gen kopiert wird und dadurch wiederum, wieviel Protein hergestellt werden kann.
Die Sequenzabschnitte des Promoters, die die Transkriptionsfaktoren binden, werden als ***cis*-Elemente** bezeichnet (cis = diesseits), da sie unmittelbar vor (und manchmal auch in) dem Gen liegen. Die Transkriptionsfaktoren selbst werden als ***trans*-Elemente** bezeichnet (trans = jenseits), da sie von „irgendwo“ aus der Zelle kommen.

das Muster der Yellow-Verteilung in etwa dem, wie es in *D. biarmipes* auftritt: eine Hintergrundaktivität verteilt über den ganzen Flügel mit einer stärkeren Konzentration an der Flügelspitze. Das bedeutet, dass die Veränderung der Färbung (= Bildung von Flügelflecken) vorwiegend auf die Veränderung von *cis*-Elementen zurückzuführen ist.

Mit weiteren ähnlichen Versuchen gelang den Forschern, das *cis*-Element, welches für den Flügelfleck notwendig ist, weiter einzugrenzen. Ein 675 Basenpaare langes Fragment, ca. 1000 Basenpaare vor dem Protein-kodierenden Bereich des *yellow*-Gens, ist im Prinzip ausreichend, um einen Farbfleck hervorzurufen. Dieses *cis*-Element wurde *spot* genannt. Durch weitere Serien von Versuchen konnte herausgefunden werden, dass mindestens eine Bindestelle für ein aktivierendes und eine für ein unterdrückendes *trans*-Element zu den bisher vorhandenen *cis*-Elementen hinzugekommen sind. Als unterdrückendes Element konnte nachfolgend der *trans*-Faktor Engrailed ausfindig gemacht werden. Dieser Faktor ist wichtig für die Festlegung von vorne und hinten. Er wird im Flügel *nur* in der unteren Flügelhälfte ausgebildet und teilt den Flügel so in eine vordere und hintere Hälfte. Engrailed unterdrückt *yellow* in der unteren Flügelhälfte, so dass der Flügelfleck eben nur im vorderen Bereich des Flügels auftritt. Der positive Faktor für die stärkere Ausbildung von *yellow* in der Flügelspitze wurde in der Publikation nicht näher beschrieben. Abb. 3 gibt einen vereinfachten grafischen Überblick über die Situation.

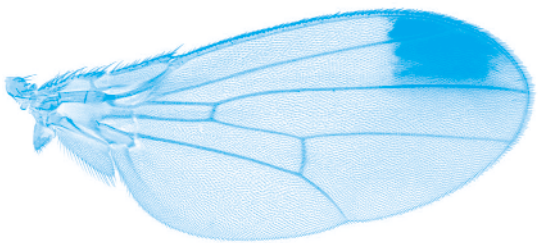


Abb. 2: Flügel mit Flügelfleck, wie er z.B. bei Drosophila biarmipes *vorkommt. (Ausschnitt aus Abb. 1, © Nicolas Gompel, Abdruck mit freundlicher Genehmigung)*

Evolutionäre Flickschusterei?

Die beobachtete Veränderung im sichtbaren Flügelmuster (d.h. zusätzliche Flügelflecken) ist – den Autoren der Studie zufolge – durch eine sogenannte „Kooption“ zustande gekommen: Im Flügel befindet sich bereits während der Entwicklung des Insekts ein nicht sichtbares Muster aus mindestens zwei *trans*-Faktoren, von denen einer als Engrailed identifiziert wurde (s. o.). Dieses verborgene Muster der beiden *trans*-Faktoren wird von *yellow* „übernommen“. Das heißt, das Gen *yellow* hat zwei zusätzliche Bindestellen (durch Mutationen) erhalten, die nun von den beiden bereits vorhandenen *trans*-Faktoren erkannt werden. Da das entstehende Protein Yellow für die Entwicklung von Melanin (= dunkle Farbe) zuständig ist, wird das bisher verborgene Muster der beiden *trans*-Faktoren (Vormuster, „pre-pattern“) auf den Flügeln sichtbar.

Interessanterweise wird an dieser Stelle eine weitreichende Spekulation vorgestellt: So sollen Proteinbausteine, die die Linsen der Wirbeltiere aufbauen (Linsencrystalline) ebenfalls durch einen solchen „Kooptions“-Prozess als Linsenbaumaterial herangezogen worden sein. Denn die Eiweiße, die unsere Augenlinse aufbauen, findet man an anderer Stelle im normalen Zellstoffwechsel als normale Enzyme wieder und es wird spekuliert, dass durch „evolutive Flickschusterei“ (hier als „Kooption“ bezeichnet) diese Proteine schließlich zusätzlich auch als Linsencrystalline verwendet wurden. Hier stellt sich jedoch die Frage, welche verborgenen „Vormuster“ (pre-pattern) einer Linse zugrunde gelegen haben sollen. Eine Augenlinse entsteht ja nicht einfach durch eine Anhäufung eines gleichen (schon anderweitig verwendeten) Proteins, sondern bedarf weiterer komplexer Regulationen. Die Augenlinse ist z. B. eines der wenigen nicht durchbluteten Gewebe und hat damit eine Eigenschaft, die reguliert werden muss. Blutgefäße in der Linse, was als Krankheit auftreten kann, führen zur Trübung der Linse und damit zur Blindheit. Auch ist die Anordnung der Linsenzellen und ihrer enthaltenen Linsencrystalline nicht beliebig, usw.

Leider ist die Genetik der Augen bisher noch kaum verstanden, so dass über diese Spekulation

der Kooption von Linsencrystallin eigentlich nicht geurteilt werden kann. Es scheint aber doch klar zu sein, dass ein einfacher „Kooptions"-Vorgang wie bei Insektenflügeln beim Auge nicht abgelaufen sein kann. Weiterhin müssen Evolutionsstadien durch selektionspositive Zwischenstufen miteinander verbunden sein. Dies ist bei den Flügelmustern denkbar (wenn auch unverstanden), denn diese Muster spielen im Brautwerbetanz der Fruchtfliegen eine Rolle. Durch Bevorzugung der Männchen mit jeweils den dunkelsten Flügelspitzen könnten hier solche selektionspositiven Übergänge postuliert werden. Letztlich bleiben aber auch diese Überlegungen Spekulation. Selektionspositive Übergänge bei Augenlinsen sind wegen ihrer Komplexität erst recht noch viel mehr spekulativ.

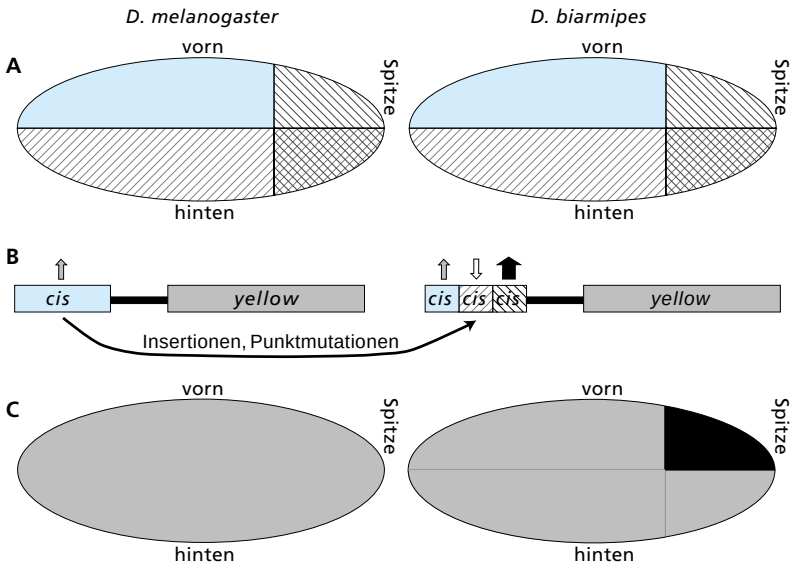


Abb. 3: Entstehung des veränderten cis*-Elements „spot" bei* D. biarmipes *aus einem spot-Element von* D. melanogaster. ***A*** *Das verborgene Flügelmuster zweier* trans*-Elemente ist in beiden Arten gleich.* ***B*** *Das* cis*-Element vor dem Gen* yellow *sorgt für eine gleichmäßig schwache Ausprägung des Proteins Yellow im Flügel. Durch Mutationen verändert sich das* cis*-Element, so dass es von zwei weiteren* trans*-Elementen erkannt wird.* ***C*** *Ein gleichmäßig leicht grau gefärbter Flügel ergibt sich durch eine entsprechend niedrige Konzentration an Yellow in* D. melanogaster. *In* D. biarmipes *wird Yellow durch das* trans*-Element in der Flügelspitze stark aktiviert, in der unteren Flügelhälfte durch ein anderes* trans*-Element aber stark unterdrückt. In der Folge entsteht ein lokaler Farbfleck.*

An/Aus: Noch mehr Flügelflecken

Wie bereits beschrieben, besitzen viele, aber bei weitem nicht alle Fruchtfliegen einen Flügelfleck. Innerhalb der sogenannten *melanogaster*-Gruppe gibt es 11 Arten mit und 8 Arten ohne Flügelfleck. Die Abstammungsverhältnisse dieser Fruchtfliegen-Arten sind bekannt und man beobachtet in dieser Gruppe sowohl den Verlust als auch vermutlich den unabhängigen (Neu-)Erwerb von Flügelflecken. Auf welche genetischen Änderungen sind die morphologisch sichtbaren Veränderungen zurückzuführen? In einer zweiten Arbeit untersuchte die gleiche Arbeitsgruppe die *cis*-Elemente des Gens *yellow* in verschiedenen Fliegenarten (Prud'homme et al. 2006). Die *cis*-Elemente wurden sequenziert, und in genetischen Experimenten wurde jeweils ihre Aktivität überprüft. Das Ergebnis zeigt, dass der Verlust des Flügelfleckens bereits nach einigen wenigen Punktmutationen in den *cis*-Elementen auftreten kann. Eine Tatsache, die nicht weiter verwunderlich ist, denn Mutationen treten ständig und zufällig auf, so dass auch für die Funktion wichtige Bereiche betroffen werden. Im Fall der nah verwandten Arten *D. elegans* (mit Fleck) und *D. gunungcola* (ohne Fleck) konnte gezeigt werden, dass mindestens zwei und höchstens sieben Punktmutationen im *cis*-Element *spot* (s. o.) für den Ausfall des Flügelflecks verantwortlich sind. Dies galt auch für eine weitere untersuchte Art ohne Flügelflecken (*D. mimetica*).

Da Mutationen ständig und ungerichtet auftreten, erscheint der *Erwerb* von Flügelflecken jedoch umso verwunderlicher. Denn nur wenn die einzelnen Mutationen positiv selektiert werden, kann ein Erwerb neuer Eigenschaften (hier von Flügelflecken) stattfinden (Weinreich et al. 2006). Die positive Selektion könnte mit den oben genannten Brautwerbetänzen der Männchen zusammenhängen, d.h. dass weibliche Fruchtfliegen in der Tat Männchen mit Flügelflecken (bzw. Ansätzen dazu) gegenüber solchen bevorzugen, die klare Flügel (ohne Flecken) haben. Allerdings bleiben diese Überlegungen bislang eine Spekulation.

Die Fruchtfliege *D. tristis* hat Flügelflecken und stammt aus der *obscura*-Gruppe von Fruchtfliegen, die acht Arten ohne Flecken und zwei Arten mit Flecken umfasst. Das entsprechende genetische *cis*-Element aus dieser Fruchtfliege wurde auf Flügelflecken-Aktivität hin getestet und interessanterweise war der Befund negativ. Das heißt: Ein anderes genetisches Element als in der *melanogaster*-Gruppe musste für Flügelflecken verantwortlich sein. Schließlich konnte dafür ein *cis*-Element im *yellow*-Gen selbst ausfindig gemacht werden (es war also in diesem Fall nicht dem Gen vorgeschaltet).

Die Gene der sogenannten höheren Organismen liegen nicht an einem Stück vor, sondern sind in Abschnitte unterteilt. Das fertige Protein entsteht nur, wenn die sinntragenden Abschnitte (Exons) aneinandergefügt werden, indem die Abschnitte ohne kodierende Funktion (Introns) ausgeschnitten werden. In einem solchen Intron befand sich ein weiteres *cis*-Element, welches die Produktion von *yellow* beeinflusste, *intron y* genannt. Außer im Flügelfleck wurde *yellow* in *D. tristis* auch besonders entlang der Flügeladern ausgeprägt, so dass diese besonders dunkel erscheinen. War nun dieses *cis*-Element im Intron von *yellow* in *D. tristis* neu entstanden oder lag ledig-

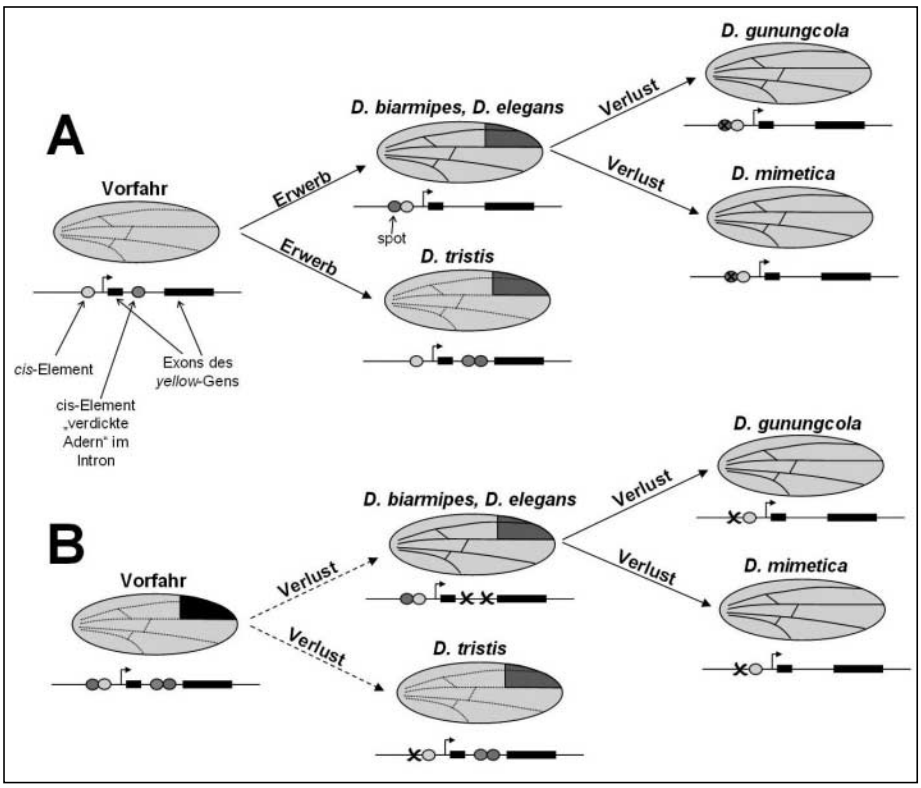


Abb. 4: Vorschläge zum Evolutionsweg der Flügelflecken bei verschiedenen Fruchtfliegenarten.
A: *Vorschlag nach* Prud´homme *et al. (2006, umgezeichnet). Der vermutete Vorfahr der untersuchten Fruchtfliegenarten besitzt zwei* cis*-Elemente, die sich unabhängig voneinander so verändern, dass durch Kooption bestehender Stoffwechselwege Flügelflecken ausgeprägt werden (siehe Text bzw. Abb. 3). Nachfolgend kommt es bei einigen Arten durch den Verlust der entsprechenden regulatorischen Region auch wieder zum Verlust der Flügelflecken.*
B: *Vorschlag mit einem komplexen Vorfahren, der alle Möglichkeiten der Flügelmusterung (Flecken, verdickte Adern) besaß. Durch Mutationen verändern sich die* cis*-Elemente, so dass Verluste in deren Regulationseigenschaften auftreten und dadurch auch die Flügelflecken bzw. die verdickten Adern ausfallen. Dieses Modell ist dadurch gedeckt, dass der Vorfahr aller untersuchten Fruchtfliegen immerhin mit einer Wahrscheinlichkeit von 28% ursprünglich Flügelflecken besaß. Verlustmutationen sind viel wahrscheinlicher und treten häufiger auf als Mutationen, die zum Erwerb neuer Eigenschaften führen (vgl.* Winkler *2003).*

lich eine Abänderung eines bereits vorhandenen *cis*-Elements vor? Um dies herauszufinden wurde *D. guanche* untersucht, eine weitere Art in der *obscura*-Gruppe ohne Flügelfleck. Tatsächlich fand sich auch bei dieser Art ein *intron y cis*-Element im Intron-Bereich des Gens *yellow*. Im Unterschied zu *D. tristis* verursacht dieses *cis*-Element aber keine Flügelflecken, sondern nur besonders dunkle Flügeladern. Damit, so die Autoren, entstanden die Flügelflecken auch bei *D. tristis* durch „Kooption", d.h. die Veränderung eines bereits vorhandenen *cis*-Elements. Dieses *cis*-Element bindet ebenfalls bereits vorhandene *trans*-Faktoren und übernimmt dadurch deren Muster. Es handelt sich also auch nicht um eine komplette Neu-Entstehung (Abb. 4A).

Gleiche Wirkung – verschiedene Ursachen

Ein sehr interessanter Befund der durchgeführten Untersuchungen ist die Tatsache, dass zwei völlig verschiedene *cis*-Elemente, die an unterschiedlichen Orten im Genom mit unterschiedlicher Sequenz (*spot* und *intron y*) in zwei Fliegenarten jeweils sehr ähnliche Flügelflecken hervorrufen. Durch die Wirkung entsprechender *trans*-Elemente besteht ein räumliches Gerüst (Vormuster) im Flügel (Wray 2006). Es scheint so, als ob in Organismen genetische Module (hier: Ausbildung von Flecken) vorgegeben sind, die durch sehr unterschiedliche genetische Mechanismen („Ein-Schaltungen") abgerufen werden können. Wie die zugrunde liegenden genetischen Module entstanden sind, wird durch solche Einsichten aber nicht erhellt.

Erwerb oder Verlust?

Fasst man beide oben beschriebenen Publikationen über Flügelflecken bei Fruchtfliegen zusammen, so ergibt sich das folgende Bild: Die Fruchtfliegen-Art, welche der Vorfahr sowohl der *melanogaster*- als auch der *obscura*-Gruppe war, besaß einen kompletten Regulationsweg für das Protein Yellow, inklusive dazugehörender *cis*-Elemente. Zwei dieser *cis*-Elemente (*spot* und *intron y*) verändern sich durch Mutationen, so dass sie nun auch *trans*-Elemente binden können (und dadurch reguliert werden), die vorher bei der Fleckenbildung keine Rolle spielten. Durch die neue Regulation entstehen Flügelflecken. In beiden Fällen handelte es sich um die Abwandlung vorhandener *cis*-Elemente („Veränderung") und nicht um eine komplette Neu-Entstehung („Neuheit"). Damit, so die Autoren, handelt es sich vermutlich wieder um Beispiele von „Kooption": verborgene Muster verschiedener *trans*-Faktoren werden durch die veränderte Regulation des Proteins Yellow, basierend auf der Veränderung seiner *cis*-Elemente, sichtbar gemacht. Die durch die *trans*-Elemente bereits geschehende Regulation wird also von *yellow* übernommen.

Aber selbst dieser Befund ist meiner Ansicht nach nicht eindeutig. Die Autoren der zweiten Studie geben einen phylogenetischen Überblick über die Fruchtfliegen-Arten der *melanogaster*- und der *obscura*-Gruppe. Der letzte gemeinsame Vorfahr dieser insgesamt 29 Arten besaß mit einer Wahrscheinlichkeit von 28% bereits Flügelflecken! Es besteht daher durchaus die Möglichkeit, dass in keinem einzigen Fall ein *Erwerb* von Flügelflecken vorliegt, sondern immer nur ein Verlust, d.h. Mutationen veränderten die *cis*-Elemente dergestalt, dass die regulierenden *trans*-Elemente *nicht* mehr binden können (Abb. 4B). Die Datenbasis zur Klärung dieser Frage ist leider nicht breit genug, denn von den Autoren wurden nur beispielhaft die bereits genannten sechs Arten untersucht. Es wäre

äußerst interessant, die genetischen Orte aller übrigen Arten dieser beiden Gruppen zu untersuchen.

Ein ähnlicher Fall wurde vor nicht allzu langer Zeit über die Flügel von Stabheuschrecken berichtet. Auch hier war man in einer ersten Publikation davon ausgegangen, dass einige Stabschrecken ihre Flügel verloren hatten, um sie dann – viele Generationen später – wieder zu erwerben. Nachfolgende kritische Betrachtungen kamen allerdings zum Schluss, dass es sich wohl immer nur um Verluste gehandelt hat. Der scheinbare Neuerwerb war ein Artefakt der phylogenetischen Rekonstruktion, denn man hatte dem Verlust wie auch dem Erwerb zunächst gleiche Wahrscheinlichkeiten zugeordnet. Ein Funktionsverlust ist aber sicherlich um Größenordnungen wahrscheinlicher (Winkler 2003).

Gehen wir davon aus, dass bei den Flügelflecken in der Tat doch eine „Kooption" stattgefunden hat. Warum wäre das hier überhaupt möglich? Man weiß, dass Stoffwechselwege, die in einem Organismus nicht mehr gebraucht werden, durch weitergehende Mutationen innerhalb weniger Generationen so beschädigt werden, dass ein „Wieder-Einschalten" nicht mehr möglich ist. Das heißt, der Ausfall dieser Stoffwechselwege hat – wenn er sowieso nicht mehr benötigt wird – keinen negativen Selektionswert; es ist quasi „egal", ob dieser Weg existiert oder nicht. Dies wurde z.B. bei Blütenfarbstoffen der Windengattung *Ipomea* nachgewiesen. Die Blüten vieler Arten sind violett, weil ein roter und ein blauer Farbstoff hergestellt wird. In einer Art entfiel die Farbstoffsynthese für Blau. Dieser Syntheseweg wurde durch nachfolgende Mutationen so „zerschossen", dass die Nachfahren dieser Art praktisch nie wieder zu einer violetten Blütenfarbe zurückkehren können, sondern bei Rot bleiben müssen (Winkler 2004).

Bei Yellow in der Fliege handelt es sich aber um einen besonderen Fall. Dieses Protein hat bei weitem nicht nur Einfluss auf die Farbgebung der Flügel, sondern auf viele andere Bereiche in der Entwicklung. Man spricht von einem pleiotropen Gen. Der Verlust eines solchen Gens ist extrem nachteilig, denn viele verschiedene Stoffwechselwege werden gleichzeitig beeinflusst, und das fein ausbalancierte System im Organismus gerät in eine Schieflage. Im Gegensatz zur relativ unwichtigen Blütenfarbe Blau bei der Windenpflanze ist also *yellow* in Fruchtfliegen ein wichtiges Gen. Das heißt, der Verlust von Flügelflecken führt *nicht* dazu, dass auf das dahinterliegende genetische System (welches u. a. Yellow umfasst) verzichtet werden kann, während der Verlust der blauen Blütenfarbe das dazugehörende genetische System dafür obsolet machte und schließlich völlig abschaltete. Der pleiotrope Charakter von *yellow* ist notwendige Voraussetzung, dass eine „Kooption", d.h. ein Wieder-Einschalten der Flügelflecken überhaupt ablaufen kann. Ob es in der Tat so der Fall war, ist – wie oben bereits andiskutiert – nicht sicher entscheidbar.

Die Autoren der Fliegenstudie sehen in ihren Untersuchungen die von Jacob Monod postulierte „evolutionäre Flickschusterei" bestätigt, bei der bestehende Elemente (hier z.B. *yellow*) in neue Funktionszusammenhänge eingebaut werden (vgl. Ullrich et al. 2006). Man muss aber in aller Deutlichkeit festhalten, dass es sich bei den aufgefundenen Mechanismen nur um Veränderungen in der *Regulation* eines Proteins (Yellow) handelt. Zudem ist eine echte „Kooption", d.h. *de novo* Entstehung von Flügelflecken, m. E. nicht zweifelsfrei nachgewiesen worden.

Weiterhin ungeklärt bzw. nicht einmal im Ansatz verstanden sind Dinge wie die Entstehung des Melanin-Syntheseweges inklusive seiner Notwendigkeit für den Gesamtorganismus als „biochemische Maschine", die Verhaltensänderungen beim Brautwerbetanz, die Entstehung des genetischen Steuerungssystems aus *cis*- und *trans*-Elementen, usw. Flügelflecken sind nur ein winziger und offensichtlich entbehrlicher Bestandteil eines komplexeren Ganzen. Veränderungen der Regulationen bestehender Systeme sind sicherlich Bestandteil einer Evolutionstheorie, aber nur der einer Mikroevolution. Die viel grundlegendere Frage nach der *Entstehung* des Gesamtsystems, also einer Makroevolution bleibt unbeantwortet. Der Schluss von den beschriebenen mikroevolutiven Prozessen auf Makroevolution, wie ihn die Autoren der Fliegenstudien bei der Evolution der Wirbeltierlinse ziehen, ist durch die Daten ihrer Studie nicht gedeckt. Denn Veränderungen in der Regulation von Genen sind nur eine notwendige Bedingung (von vielen weiteren!) für Evolution, aber keine hinreichende für deren Neuentstehung. Es liegt noch viel Forschungsarbeit vor uns, um diese Grenze mit mehr Klarheit zu erfassen.

Literatur

Eckstein (1930) Der Birkenspanner (*Amphidasis betularius*). Journal of Pest Science *6*, 59-60.

Gompel N, Prud'homme B, Wittkopp PJ, Kassner VA & Carroll SB (2005) Chance caught on the wing: cis-regulatory evolution and the origin of pigment patterns in *Drosophila*. Nature *433*, 481-487.

Prud'homme B, Gompel N, Rokas A, Kassner VA, Williams TM, Yeh SD, True JR & Carroll SB (2006) Repeated morphological evolution through *cis*-regulatory changes in a pleiotropic gene. Nature *440*, 1050-1053.

Ullrich H, Winkler N & Junker R (2006) Zankapfel Auge. Ein Paradebeispiel für „Intelligent Design" in der Kritik. Studium Integrale Journal *13*, 3-14.

Weinreich DM, Delaney NF, Depristo MA & Hartl DL (2006) Darwinian evolution can follow only very few mutational paths to fitter proteins. Science *312*, 111-114.

Winkler N (2003) Drei Schritte vor – und zwei zurück: Flügel bei Stabschrecken. Studium Integrale Journal *10*, 81-83.

Winkler N (2004) Einschränkung durch Evolution? Studium Integrale Journal *11*, 80-82.

Wray GA (2006) Evolution: spot on (and off). Nature *440*, 1001-1002.

KURZBEITRÄGE

Dinosaurier-Fund unerwartet ohne Federn

Zusammenfassung: **Entgegen den Erwartungen der Paläontologen weist der Kleindinosaurier-Neufund *Juravenator* aus dem Oberjura allenfalls „haar- oder borstenartige" Gebilde einer (möglichen) Körperbedeckung auf (Göhlich et al. 2006, 23), aber keine Federn oder „Protofedern". Das sehr gut erhaltene, noch jugendliche Exemplar des zweibeinigen Räubers ist erst der zweite Dinosaurierfund in den Plattenkalken Bayerns und schon deshalb eine Sensation. Nach kurzer Driftzeit im Wasser wurde er auf dem Plattenkalk-Boden des Ablagerungsraums sehr rasch durch Aufwuchs von Mikrobenfilmen (teil-)konserviert und mit neuem Kalkschlick bedeckt.**

Unerwarteter Befund am zweiten süddeutschen Oberjura-Kleindinosaurier.

„Das war die eigentliche Überraschung" – nämlich, dass der jüngst beschriebene räuberische Kleindinosaurier *Juravenator* (= „Jäger aus dem Juragebirge"; Abb. 1) keine Federn besitzt; auch „Protofedern", also „problematische, ‚Haar-ähnliche' Gebilde scheinen nicht überliefert zu sein" (Tischlinger et al. 2006, 286). So die Bearbeiter des weltweit beachteten Fundes aus dem Plattenkalk des Oberen Jura der Südlichen Frankenalb, der zahllose gut erhaltene Fossilien geliefert hat. Ihre obige Einschätzung haben sie inzwischen *etwas* relativiert (s.u.). Die Erwartung, Federn zu finden, wurde durch zweierlei geweckt: Einmal durch Funde chinesischer Dinosaurier seit den 1990er Jahren mit Hautstrukturen, die weithin als „Protofedern" oder sogar wirkliche Federn gelten (vgl. Junker & Scherer 2006, 239-240). Zum anderen lieferten die bayerischen Plattenkalke 1860 eine isolierte Feder und seit 1861 sämtliche 10 Exemplare des „Urvogels" *Archaeopteryx,* deren Federn zum Teil sehr gut erkennbar sind (z.B. Tischlinger & Unwin 2004, 37-42, 45-48).

Bereits 1859 wurde der im Plattenkalk von Jachenhausen (bei Riedenburg an der Donau) entdeckte, nur haushuhngroße Raubdinosaurier *Compsognathus* (= „zarter Kiefer"; Abb. 1), erstmals erwähnt (Göhlich et al. 2006, 2). Auf *Compsognathus* wird auch eine Fährtenspur im Plattenkalk von Painten (Niederbayern) zurückgeführt (Röper & Rothgaenger 1998, 9; Röper et al. 2000, 12). Mit *Juravenator* liegt nun ein zweiter Dinosaurier aus den Plattenkalken der Südlichen Frankenalb vor. Wie *Compsognathus* gehört er zur Gruppe der Coelurosaurier (Hohlschwanzechsen), bei denen viele Paläontologen in jüngster Zeit davon ausgegangen waren, dass sie allesamt befiedert oder zumindest mit flaumartigen „Protofedern" ausgestattet gewesen seien, wie man aus den erwähnten Funden in China schloss. Auch die Bearbeiter sehen in solchen räuberisch lebenden, zweibeinigen Dinosauriern aus dem Jura den evolutiven Ursprung der Vögel (Tischlinger et al. 2006, 286; vgl. jedoch Junker 2005, 55-56). Die Bedeutung des Fundes wird bereits durch seine Kurzbeschreibung im führenden Wissenschaftsjournal *Nature* signalisiert (Göhlich & Chiappe 2006); inzwischen veröffentlichten die Autoren eine ausführliche Arbeit (Göhlich et al. 2006).

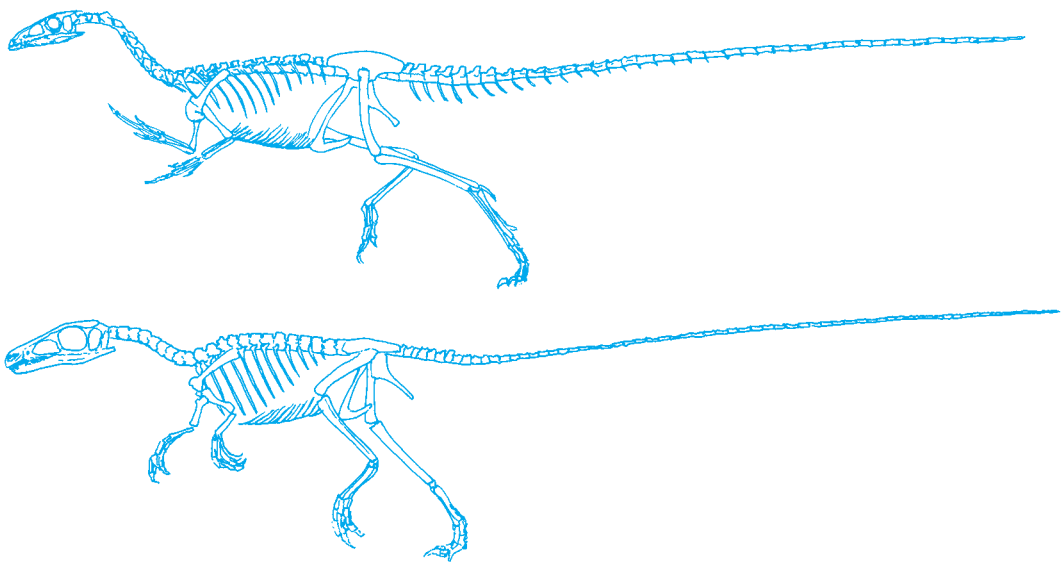


Abb. 1: Skelettrekonstruktion von Juravenator starki *(unten) im Vergleich mit der Skelettrekonstruktion von* Compsognathus longipes. *(Nach Göhlich et al. 2006)*

Stud. Int. J. 14 (2007), 26-28

Ungewöhnlich hartes Gestein und mineralisierte Weichteile. Der Schädel von *Juravenator* mit den messerscharfen, gesägten Zähnen wurde bereits 1998 gefunden und präpariert (Viohl 1999). Das erwies sich als überaus schwierig, denn er stammt aus dem harten Kieselplattenkalk von Schamhaupten (östlich von Eichstätt; vgl. Röper 1997, 131-139; Viohl & Zapp 2006). Dieses Vorkommen dürfte nach der Ammonitenfauna etwas älter sein als der „klassische" Solnhofener Plattenkalk um Eichstätt und Solnhofen und wird gegenwärtig mit rund 150 Millionen (radiometrischen) Jahren angegeben (Göhlich et al. 2006, 7; vgl. Röper 1997, 131). Eine ganz präzise Einstufung mit Hilfe leitender Ammoniten ist wegen etwas abweichender Auffassungen der Spezialisten derzeit nicht möglich (Viohl & Zapp 2006, 30-31; zur Einstufungs-Methodik mit Ammoniten vgl. Stephan 2002, 34-35).

Erst 2003 konnte die mühsame Präparation von *Juravenator* fortgesetzt und Körper und Extremitäten in monatelanger Arbeit unter Einsatz von Diamantwerkzeugen auf der stark verkieselten Platte – härter als Stahl! – freigelegt werden. Die dolchförmig nach hinten gekrümmten Zähne mit gekerbten Schneidekanten weisen ihn als fleischfressenden Dinosaurier (Theropode) aus; es ist das am besten erhaltene Exemplar Europas (Tischlinger et al. 2006, 283). Seine Greifhände sind mit 3 langen, sichelförmigen Krallen versehen. Außer der Schwanzspitze ist das Skelett fast vollständig. Seine Länge beträgt nur ca. 65 cm; als ursprüngliche Gesamtlänge nimmt man 75-80 cm an. Verschiedene Skelettmerkmale (z.B. noch nicht verwachsene Knochennähte) lassen auf ein Lebensalter von maximal wenigen Monaten schließen; es wird angenommen, dass erwachsene Tiere etwa 1,5 m erreichten. Sogar mineralisierte Weichteile sind überliefert: Haut- und Muskelreste oder beschuppte Haut mit Pusteln ähnlich den Rundschuppen der heutigen Krustenechse (!) *Heloderma* (Göhlich et al. 2006, 22-24). Auch einige „faserige, borstenartige Strukturen" im Schwanzbereich wurden identifiziert (Tischlinger et al. 2006, 286). Sie werden nach weiteren, technisch verbesserten UV-Lichtuntersuchungen inzwischen als „haar- oder borstenartige Gebilde" interpretiert, als Fasern, die zwischen 1,5 und 3 mm lang sind, über die Schwanzbegrenzung hinausragen und nach Ansicht der Autoren „Reste einer Körperbedeckung" darstellen dürften (Göhlich et al. 2006, 23). Jedoch wurden ähnliche Strukturen in den letzten Jahren von ganz unterschiedlichen Reptilgruppen beschrieben, was ihre Aussagekraft bezüglich evolutiver Hypothesen schwächt (vgl. Junker 2005, 53; Stephan 2006). Leider wird die Arbeit von Feduccia et al. (2005), die in solchen Strukturen lediglich Zerfallsmuster von Fasern der Körperbedeckung sieht (vgl. Junker 2006), von den Bearbeitern weder diskutiert noch angeführt.

Fragwürdige Merkmalsanalyse. *Juravenator* weist nach Tischlinger et al. (2006, 284) gewisse Ähnlichkeiten mit dem „Urvogel" *Archaeopteryx* auf. Größer ist die Übereinstimmung mit dem erwähnten Kleindinosaurier *Compsognathus,* der ebenfalls keine Federn besitzt (Göhlich & Chiappe 2006, 332; Göhlich et al. 2006, 6-18). *Archaeopteryx* und *Compsognathus* stammen aus wenig jünger eingestuften Plattenkalk-Arealen der Südlichen Frankenalb. Zur *grundsätzlichen* Problematik der cladistischen Merkmalsanalyse, wie sie Göhlich & Chiappe (2006, 330-332) auf bestimmte Dinosaurier und „Urvögel" anwenden, soweit sie *Juravenator* stärker ähneln, ist die Kritik von Junker (2002, bes. Kap. 3) zu vergleichen. Besonders ist nicht akzeptabel, dass bei dieser Analyse die stratigraphische Abfolge der Fundschichten nicht (gebührend) berücksichtigt wird. Sonst würde sofort deutlich: Nur Funde aus der Kreide haben *mutmaßliche oder zweifelhafte* (s.o.) Federstrukturen, aber bisher kein einziger Dinosaurier aus dem Jura (der Jura ist älter als die Kreide und unterlagert sie). *Im Jura* müssten jedoch im evolutiven Erklärungsrahmen Federn bei Dinosauriern am ehesten auftreten, und zwar besonders in den für die Erhaltung von Federn sehr günstigen bayerischen Plattenkalken; besitzt doch der „Urvogel" *Archaeopteryx* aus den gleichen Plattenkalken echte Schwung- und Steuerfedern (Tischlinger & Unwin 2004, 37-40). Die anatomisch-morphologische Merkmalsverteilung der analysierten Dinosaurier einschließlich *Juravenator* entspricht – zumal angesichts der stratigraphischen Abfolge, in der sie auftreten – insgesamt nur sehr ungenügend den Erwartungen des Evolutionsszenarios (für einige weitere Beispiele „unpassender" Fossilfunde z.B. Junker & Scherer 2006, 233, 237, 248, 256/257, 262; zum Grundproblem des *Höher*entwicklung-Postulats vgl. Stephan & Fritzsche 2003, 65-66). Die Überraschung der Paläontologen ist verständlich: Sie hatten – besonders wegen der guten Erhaltung von *Juravenator* im Plattenkalk! – fest mit dem Besitz von Federn gerechnet. Diese im Evolutionsparadigma plausible Erwartung (quasi eine wissenschaftliche Vorhersage) hat sich bisher nicht bestätigt.

Gewaltsamer Tod und gute Konservierung. Warum ist *Juravenator* so gut erhalten? Göhlich et al. (2006, 24-25) nehmen an, dass das Tier entweder unmittelbar nach dem Tod in den Ablagerungsraum der Plattenkalke geschwemmt wurde oder vielleicht sogar darin ertrank. Dort wurde der Kadaver sehr rasch von offenbar aasfressenden Asseln besiedelt, „die sich während der kurzen Driftzeit an die Leiche hefteten". Am Boden des Plattenkalk-Ablagerungsraums herrschten (infolge Sauerstoffmangel bzw. Übersalzung?) lebensfeindliche Verhältnisse (Viohl & Zapp 2006, 46, 64-65). „Für die Erhaltung feinster Weichteilstrukturen zeigen sich vermutlich Mikrobenfilme verantwortlich, die den Kadaver

sehr schnell einhüllten“ und „relativ schnell eine bakterielle Biomineralisation der Weichteile einleiteten“ (Göhlich et al. 2006, 24-25; ähnlich Viohl & Zapp 2006, 53); das geschah „blitzschnell“ – „innerhalb weniger Stunden“ (Gall & Krumbein 1992, 44, 42). Jedoch reicht dies nicht aus, um dauerhaft dem Zerfall zu entgehen; es handelt sich nur um einen „hauchdünnen“ Bakterienfilm (Tischlinger 2006, 250). Gegenüber diesen unbestrittenen Effekten wird von Röper (1997, 138) bezüglich der guten Erhaltung in den fossilreichen Kieselplattenkalken von Schamhaupten die Bedeutung rascher

> Die gute Erhaltung von Juravenator ist ein Hinweis auf eine rasche Folge der Ablagerung der Plattenkalk-Lagen.

Sedimentation und Verschüttung hervorgehoben. Er betont, dass beim Vorgang der Fossilisierung letztendlich dem Sediment selbst ausschlaggebende Bedeutung zukommt. So ist auch die gute Erhaltung des jugendlichen Dinosauriers *Juravenator* ein Hinweis auf die Ablagerung von Plattenkalk-Lagen rasch nacheinander (vgl. Stephan 2005). Dafür gibt es im gut untersuchten Kieselplattenkalk von Schamhaupten auch sonst zahlreiche Hinweise (Viohl & Zapp 2006).

Manfred Stephan

Literatur

Feduccia A, Lingham-Soliar T & Hinchliffe JR (2005) Do Feathered Dinosaurs Exist? Testing the Hypothesis on Neontological and Paleontological Evidence. J. Morphol. *266*, 125-166.

Gall J-C & Krumbein WE (1992) Weichkörperfossilien. Fossilien *9*, 35-49.

Göhlich UB & Chiappe LM (2006) A new carnivorous dinosaur from the Late Jurassic Solnhofen archipelago. Nature *440*, 329-332.

Göhlich UB, Tischlinger H & Chiappe LM (2006) *Juravenator starki* (Reptilia, Theropoda), ein neuer Raubdinosaurier aus dem Oberjura der Südlichen Frankenalb (Süddeutschland): Skelettanatomie und Weichteilbefunde. Archaeopteryx *24*, 1-26.

Junker R (2002) Ähnlichkeiten • Rudimente • Atavismen. Design-Fehler oder Design-Signale? Holzgerlingen.

Junker R (2005) Der Ursprung der Vögel – ein Update. Stud. Int. J. *12*, 51-57.

Junker R (2006) Gefiederte Dinosaurier – eine Fehldeutung? Stud. Int. J. *13*, 33-34.

Junker R & Scherer S (2006) Evolution: Ein kritisches Lehrbuch. 6. Aufl. Gießen.

Röper M (1997) Paläoökologische Säulenprofile in den Oberjura-Plattenkalken der Südlichen Frankenalb (Oberes Kimmeridgium bis Unteres Tithonium). Acta Albertina Ratisbonensia *50/2*, 123-200.

Röper M & Rothgaenger M (1998) Die Plattenkalke von Hienheim. Eichendorf.

Röper M, Rothgaenger M & Rothgaenger K (2000) Die Plattenkalke von Schernfeld. Eichendorf.

Stephan M (2002) Zur Bildungsdauer des Nusplinger Plattenkalks, Teil 1. Stud. Int. J. *9*, 28-37.

Stephan M (2005) Plattenkalke: Neue Hinweise auf rasche Entstehung und geologisch nicht überlieferte Biotope. Stud. Int. J. *12*, 85-87

Stephan M (2006) Flugsaurier: Phantastische Weichteilerhaltung – Federn oder Haare? Stud. Int. J. *13*, 86-88.

Stephan M & Fritzsche T (2003) Sintflut und Geologie. Schritte zu einer biblisch-urgeschichtlichen Geologie. 2. Aufl. Holzgerlingen.

Tischlinger H (2006) …und Goldfuß hatte doch Recht! Fossilien *23*, 245-253.

Tischlinger H, Göhlich UB & Chiappe LM (2006) Borsti, der Dinosaurier aus dem Schambachtal: Erfolgsstory mit Hindernissen. Fossilien *23*, 278-287.

Tischlinger H & Unwin D (2004) UV-Untersuchungen des Berliner *Exemplars von Archaeopteryx lithographica* H. v. Meyer 1861 und der isolierten *Archaeopteryx*-Feder. Archaeopteryx *22*, 17-25.

Viohl G (1999) Fund eines neuen kleinen Theropoden. Archaeopteryx *17*, 15-19.

Viohl G & Zapp M (2006) Die Fossil-Lagerstätte Schamhaupten (oberstes Kimmeridgium, Südliche Frankenalb, Bayern). Archaeopteryx *24*, 27-78.

„Grundtypstudie” von Stephen Jay Gould

Der 2002 verstorbene Evolutionsbiologe Stephen J. Gould ist nicht zuletzt durch seine kurzweiligen und lehrreichen Essays über ein breites Themenspektrum bekannt. Die ursprünglich in der Zeitschrift *Natural History* veröffentlichten Artikel wurden in mehreren Essaybänden zusammengefasst (vgl. Ullrich 2006). Darin finden sich manche bemerkenswerte Beobachtungen für eine schöpfungsorientierte Betrachtung der Natur, auch wenn Gould diese Sichtweise vehement ablehnte (er soll für die hier gezogenen Schlussfolgerungen keineswegs vereinnahmt werden!). So schildert Gould in dem 1985 veröffentlichten Band „The Flamingo’s Smile“ Untersuchungen der auf den Bahamas beheimateten Landschnecken der Gattung *Cerion*, die mit Fug und Recht als Grundtypstudien charakterisiert werden können. („The Flamingo’s Smile“ ist 1989 in Deutsch erschienen; Zitate im Folgenden aus der Übersetzung.)

Diese Schnecken kommen in einer Vielfalt vor, die von keiner anderen Schneckengruppe erreicht wird. „Einige *Cerion*-Arten sind lang und bleistift-

dünn, andere sind dagegen wie Golfbälle geformt“ (S. 140). Eine Form ist sogar fast quadratisch. Es gibt auch eine beträchtliche Größenvariation von 5 mm Durchmesser bis 70 mm Länge. Dieser enormen Vielfalt ist es zu verdanken, dass bis zu 600 Arten unterschieden wurden; allerdings ist das viel zu hoch gegriffen, da Artnamen oft vorschnell vergeben wurden. Aber auch unter den noch verbliebenen 200 Arten wurden auf den Bahamas nur zwei abgeschlossene *Cerion*-Populationen gefunden, die im selben Gebiet vorkommen und sich *nicht* kreuzen: ein „Riese“ und ein „Zwerg“ (Gould wurde an Zwergpinscher und Deutsche Dogge erinnert). „In allen anderen Fällen hybridisieren die Schnecken ungeachtet ihrer Unterschiede in Größe und Form, wann immer sie an den Grenzen ihrer geographischen Verbreitung aufeinandertreffen“ (S. 140). *Cerion* bringt also eine sehr große Formenvielfalt hervor, ohne echte Spezies zu bilden.

Eine detaillierte langjährige Untersuchung zeigte, dass man die Schneckenvielfalt in zwei Gruppen unterteilen kann. Gould nennt sie der Einfachheit halber aufgrund der Gehäusebeschaffenheit „gerippte Population“ (sie sind dickschalig, stark gerippt, einheitlich gefärbt, relativ breit und fast zylindrisch geformt) und „marmorierte Population“ (dünnschalig, glatt oder nur schwach gerippt, vergleichsweise bunter, relativ schmal und eher fassförmig). Die gerippten Formen kommen an den Bank-Außenküsten der nördlichen Bahamas vor; die marmorierten leben an den Bank-Innenküsten und im Inneren der Inseln. Wo die Außen- und Innenküsten aufeinandertreffen, kommen Hybriden vor. Eine dritte Gruppierung mit dickem, glattem, weißem, dreieckigem Gehäuse kommt auf den Inseln Eleutheria und Cat Island vor. Auch sie hybridisieren mit Vertretern der anderen beiden Gruppen.

Bemerkenswert (und für Gould zunächst „rätselhaft“) ist ein weiterer Befund: „Bestimmte *Cerion*-Formen leben oft auf weit voneinander getrennten Inseln“ (S. 140). Deren „detaillierte Entsprechungen“ müssen unabhängig voneinander (konvergent) an den verschiedenen Lokalitäten evolviert sein. Diese Schlussfolgerung wird unterstrichen durch den Befund, dass der Bau der Geschlechtsorgane nicht mit der Einteilung der Gruppen aufgrund der Gehäuseform (gerippt/marmoriert) korreliert. Gould folgert, „dass eine ganze Reihe komplexer Merkmale sich tatsächlich mehr als einmal in genau derselben Weise zu entwickeln vermag. Ich kann mir nicht vorstellen, wie das geschehen soll, wenn sich jedes Merkmal einzeln entwickeln muss, indem es immer erneut seinem eigenen genetisch vorgezeichneten Weg folgt. Die Merkmale müssen im genetischen Programm von *Cerion* irgendwie koordiniert sein; sie müssen zusammen aktiviert bzw. ‘aufgerufen’ werden“ (S. 151). Er vermutet einen genetischen „Master

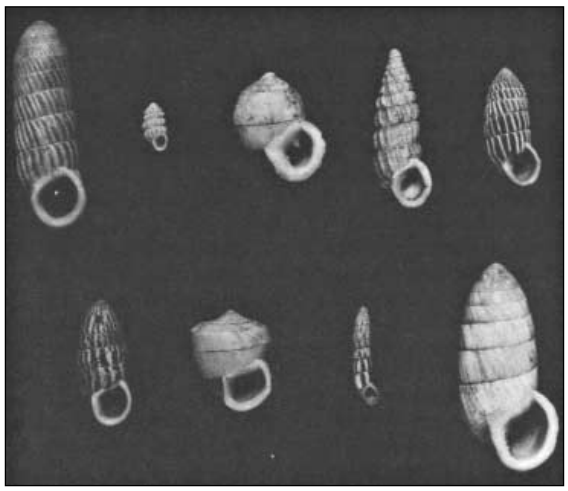


Abb. 2: Verschiedene Cerion-Gehäuse von den Bahamas und Kuba. Sie vermitteln einen Eindruck von der enormen Vielfalt dieser Gattung. Foto: Al Coleman.

switch“, vergleichbar dem genetischen Schalter, dessen Mutation bei Fliegen z. B. dazu führt, dass Beine anstelle von Antennen gebildet werden. (Gut 20 Jahre nach der Veröffentlichung dieses Essays von Gould ist uns dieses Verständnis durch die Entdeckung der Homeobox-Gene mittlerweile sehr vertraut.)

Gould schreibt: „Auch im genetischen Programm der *Cerion* könnte ein solcher Hauptschalter jeden ihrer grundlegenden Entwicklungswege aktivieren und immer wieder ein Merkmalsgefüge evoluieren, das die Grundformen festlegt“ (S. 151). Und weiter: „Wenn genetische und entwicklungsbiologische Programme hierarchisch organisiert sind, ..., dann brauchen neue Formen gar nicht Stück für Stück entstehen (...), sondern koordiniert durch eine Betätigung des Hauptschalters (oder ‘Regulators’) von Entwicklungsprogrammen“ (S. 151).

Soweit Stephen J. Gould. Die von ihm beschriebenen Befunde und seine Deutung können 1:1 in dem Rahmen der Grundtypenbiologie der Schöpfungslehre interpretiert werden: 1. Es gibt polyvalente Stammformen mit einer Art „Baukastensystem“ von Merkmalen bzw. Merkmalsausprägungen. 2. Dies bildet die Basis für schnelle und gleichartige (konvergente) Entstehung von Merkmalsausprägungen in verschiedenen Linien bzw. Arten. Woher die Gattung *Cerion* und ihr Variationspotential kommen, liegt außerhalb der empirischen Studien von Gould.

Reinhard Junker

Literatur

Gould SJ (1989) Opus 100. In: Gould SJ: Das Lächeln des Flamingos. Betrachtungen zur Naturgeschichte. Basel, S. 138-152.

Ullrich H (2006) Rezension von: Stephen Jay Gould: Das Ende vom Anfang der Naturgeschichte. Frankfurt am Main, 2005. Stud. Int. J. *13*, 104-108.

Ameisen – Neue Überraschungen (Teil 3)

Die Evolutionstheorie geht davon aus, dass jeweils kleine vorteilhafte Schritte von einem Vorläuferstadium zum heute beobachteten Stadium führen. Manchmal wundert man sich aber über die z.T. fantastisch anmutenden Konstruktionen in der Natur und die Frage liegt nahe: Können solche Dinge von alleine, d.h. innerhalb des naturgesetzlichen Rahmens aus einfacheren Vorläufern entstehen? Hier setzt der „Intelligent Design"-Ansatz an. Viele Strukturen, die uns in der Biologie begegnen, sind nicht-reduzierbar komplex. Es gibt vielleicht ein paar einfachere Vorstufen, doch schon bald stößt man bei weiteren Vereinfachungsversuchen an eine bislang nicht überwundene Grenze: Auf der Seite vor dieser Grenze stellt man fest: „Es geht nicht", weil beispielsweise ein bestimmtes Bauteil fehlt oder nicht genau passt. Auf der Seite dahinter heißt es: „Es funktioniert (wunderbar)", weil hier alles an seinem Platz ist. Die Evolutionstheorie besitzt genau an dieser Grenze eines ihrer größten

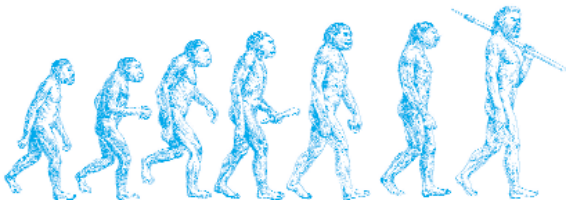


Abb. 1: „Optisches Storytelling" der Entstehung des Menschen aus dem Tierreich.

Defizite. Für Evolutionsbiologen stellt sich das Problem, dass viele Systeme viel zu kompliziert sind, als dass wir mit unseren heutigen Methoden gezielt nachprüfbare Modelle aufstellen könnten, wie durch evolutive Prozesse eben jene Systeme entstehen konnten. Oft behilft man sich stattdessen mit einem „story telling": Vermutungen über den abgelaufenen Evolutionsprozess werden in einer Art Geschichte dargestellt, um den unbekannten Vorgang erzählerisch zu bewältigen (siehe Abb. 1: ein optisches Storytelling. Eine Grenze zwischen menschenffenartigen Australopithecinen und Menschen ist hier offensichtlich nicht zu sehen). Aus der Perspektive einer Schöpfung betrachtet sind Biologen allerdings mit dem gleichen Problem konfrontiert: Der „harte" naturwissenschaftliche Nachweis von nicht-reduzierbar komplexen Strukturen ist, eben wegen der häufig hohen Komplexität,

Abb. 2: Odontomachus clarus, eine in der Wüste lebende Schnappkieferameise, die ihre Triggerhaare ihrer offenen Falle zeigt. Chiricahua Mountains, Arizona, USA. http://www.alexanderwild.com/insects; © Alex Wild; Abdruck mit freundlicher Genehmigung

kaum zu führen (bzw. stellt sich die Frage, ob die Naturwissenschaft auf diese Weise überhaupt eine solche „Grenzüberschreitung" erzwingen kann – doch das ist ein anderes Thema). Es sind zu viele Unbekannte im Spiel. Oft bleibt uns nur das Staunen über die wundersamen Naturerscheinungen und um solche soll es auch im folgenden dritten Beitrag in unserer Serie über Ameisen gehen.

Ameisen sind die weltweit erfolgreichste Gruppe von eusozialen Insekten. Sie tragen ca. 10-20% der organischen Biomasse in tropischen Regenwäldern bei und besetzen Schlüsselstellen in vielen Biotopen der Erde. Ameisen sind die wichtigsten Räuber für wirbellose Tiere in den meisten Ökosystemen und in den Neotropen (Amerika) sind sie auch wichtige Pflanzenfresser (vertreten durch die Blattschneiderameisen). Verschiedenste Arten von Ameisen haben symbiontische Lebensgemeinschaften mit über 465 Pflanzenarten und mit tausenden von Insekten (z.B. Läusen). Eine noch unbekannte Zahl an Pilzen und Bakterien lebt ebenfalls in Symbiose mit Ameisen. Einige Ameisenlinien zeigen erstaunliche Leistungen wie Pilzzucht, Ernte von Samen, Hüten und Melken von anderen Insekten, gemeinsames Nestweben, kooperative Jagd in Rudeln, Sozialparasitismus bei anderen Ameisen, Sklavenjagd usw., die das Interesse von Laien und Wissenschaftlern gleichermaßen anfachen.

Ameisen mit Mausefalle

Hohe Geschwindigkeit ist eine wichtige physikalische Fähigkeit vieler Tiere, sei es um Beute zu erlegen oder um Räubern zu entkommen. Die schnellsten Starts legen Fliegen und Heuschrecken hin, in Bruchteilen von Sekunden. Flöhe beschleunigen innerhalb von 0,7 bis 1,2 ms und Springschwänze innerhalb von 4 ms ab dem Impuls loszuspringen. Demgegenüber scheint die Fluchtreaktion von Schaben und Fischen direkt langsam, 40 ms bzw. 35 ms benötigen diese Tiere.

Nun jagen die Ameisen der Gattung *Odontomachus* (Abb. 2) unter anderem Springschwänze. Bevor sie aber ihre Kiefer auf gewöhnliche Weise schließen könnten, wäre die Beute (innerhalb von 4 ms) längst mit einem Sprung entkommen. Die Ameisen können ihre Kiefer (ca. 1,8 mm Länge) jedoch aufspannen wie eine Mausefalle. Treffen sie dann auf ein Beutetier, schlagen die Kiefer in einer unglaublich kurzen Zeitspanne von weniger als 0,33 ms zu; schnell genug um einen Springschwanz zu erwischen. Es handelt sich dabei um eine der schnellsten Bewegungen, die man bei Tieren kennt

Stud. Int. J. 14 (2007), 30-32

(Gronenberg et al. 1993). Die schnellste bekannte Bewegung bei Pflanzen sind übrigens die Fallen des fleischfressenden Wasserschlauches. Die Tür der Falle öffnet sich innerhalb von 2 ms und schließt sich innerhalb von 30 ms (Lönnig & Becker 2004). Doch kehren wir zurück zu den Ameisen. Entscheidend für das schnelle Zuschnappen der Ameisenkiefer sind mehrere Besonderheiten. Die Kiefer sind innen größtenteils luftgefüllt, um sie leichtgewichtig zu machen. Bei massiven Mandibeln könnte die hohe Beschleunigung nicht erreicht werden. Gespannt werden die Kiefer über Muskeln, rasten dann aber ein und bleiben ohne weitere Muskelanspannung geöffnet. Das Zuschnappen der Kiefer wird durch die Berührung von 1 mm langen Auslöse-Haaren auf der inneren Seite der Mandibeln ausgelöst. Die Weiterleitung des Reizes geschieht über riesenhaft vergrößerte Nervenzellen, die das Signal sehr schnell zum Gelenk weitergeben. Denn je größer der Durchmesser einer Nervenfaser bei Wirbellosen ist, um so schneller kann sie einen Reiz weiterleiten (Gronenberg et al. 1993).

In einer neueren Studie wurden die Schnappkieferameisen erneut untersucht. Dabei konnte erstmals der vollständige Ablauf des Schließens durch Hochgeschwindigkeitsaufnahmen abgebildet werden. Es zeigte sich, dass die Kiefer noch schneller sind als ursprünglich gedacht! Im Durchschnitt schlossen sich die Kiefer innerhalb von 0,13 ms, mit einem Minimum von 0,06 ms. Die Beschleunigung erreichte das 10.000 fache der Erdbeschleunigung und die Geschwindigkeit näherte sich 230 km/h. Die Ameisen nutzen die enormen freiwerdenden Kräfte interessanterweise nicht nur um Beute zu machen, sondern auch zur Verteidigung oder Flucht. Größere Angreifer wie Spinnen werden regelrecht weggeschleudert, wenn die Ameisen ihre Kiefer gegen sie schnappen lassen. Dabei fliegen die Ameisen in entgegengesetzer Richtung zum Teil bis zu 20 cm weit, aber höchstens 2 cm hoch. Zur Flucht werden die Kiefer in einem anderen Winkel auf den Boden gesetzt, die Ameisen springen dann bis 10 cm in die Höhe, aber nur ca. 8 cm weit (Patek et al. 2006). Gronenberg und Mitarbeiter (1993) halten in ihrem Artikel fest, dass der Schnappkiefer-Mechanismus einer gespannten Feder gleicht, die in einem kurzen Augenblick ihre gesamte Energie freigibt, die über einen längeren Zeitraum angesammelt wurde. Interessanterweise benutzt Behe (1996) eine Mausefalle, die ebenso funktioniert, als Beispiel für eine nicht-reduzierbar komplexe Struktur.

Ameisen mit Kilometerzähler

Wüstenameisen der Gattung *Cataglyphis* leben an einem flachen Ort, an dem es nur wenige oder keine Möglichkeiten gibt, sich optisch an Landmarken zu

Abb. 3: Eine Wüstenameise der Gattung Cataglyphis. *© Jean-mart Christophe. Abdruck mit freundlicher Genehmingung.*

orientieren. Zur Nahrungssuche verlassen die Ameisen ihr Nest und wandern nach Nahrung Ausschau haltend in Suchschleifen umher. Haben sie Nahrung gefunden oder möchten sie zum Nest zurückkehren, laufen sie in gerader Strecke, also ohne Umweg, zum Nesteingang und verfehlen ihn meist nur um wenige cm. Das wäre so, als würde ein Mensch stundenlang in einer Landschaft kreuz und quer umherlaufen, um dann ohne weiteres die genauere Richtung zum Ausgangspunkt zu kennen und diesen nur um einige m zu verfehlen. Obwohl die Ameisen wie die Bienen einen Himmelskompass besitzen und sich so am Stand der Sonne bzw. des polarisierten Himmelslichts orientieren können, spielt er bei dieser Fähigkeit anscheinend nur eine untergeordnete Rolle. Selbst bei völliger Dunkelheit vollbringen die Ameisen ihr Kunststück. Es war bereits klar, dass die Ameisen durch „Integration“ ihrer Bewegungen den Heimweg finden. D.h. sie „merken“ sich, wieviele Rechts- und Linkskurven sie gemacht haben und berechnen daraus den Rückweg. Unklar war bisher, wie die Ameisen die zur Berechnung benötigte *Entfernung* ableiten können. Wittlinger und Kollegen (2006) testeten eine Hypothese, die bereits 1904 vorgeschlagen wurde: Vielleicht „zählen“ die Ameisen einfach ihre Schritte. Das Experiment war einfach wie genial: Den Ameisen wurde an einer Futterstelle in 10 m Entfernung Nahrung angeboten. Nach erfolgreichem Training wurden die Tiere an

Abb. 4: Die Waldameise (Formica rufa). *© 2004 M. Betley. Abdruck gewährt unter GNU Freie Dokumentationslizenz*

Abb. 5: Die Schmalbrustameise Temnothorax *spec. beim Pflegen ihrer Larven. © Alex* Wild*; Abdruck mit freundlicher Genehmigung*

der Futterstelle eingefangen und entweder mit Schweineborsten Stelzen an die Beine geklebt, oder die Beine (und so etwas können wohl nur Wissenschaftler tun – Autsch!) etwas abgeschnitten. Die Ameisen mit Stelzen liefen ca. 5 m über den Nesteingang hinaus, die mit gekürzten Beinen suchten den Nesteingang bereits nach ca. 6 m. Damit war endlich klar, dass jeder gemachte Schritt wie in einem Kilometerzähler aufgezeichnet wird. Aus den zurückgelegten Schritten und Winkeln berechnen die Ameisen ihren geraden Rückweg (Wittlinger et al. 2006; 2007).

Ameisen mit optischem Autopilot

Wald-Ameisen (*Formica rufa*, Abb. 4) leben in einer sehr formenreichen Umwelt. Tatsächlich orientieren sie sich optisch an den sichtbaren Landmarken (z.B. Baumstümpfe, Pilze, etc.), um sich im Gelände zurechtzufinden. Auf ihrem Weg machen die Ameisen mentale „Schnappschüsse" von ihrer Umgebung. Dabei merken sie sich allerdings nicht das gesamte Bild (das wären viel zu viele Daten für ein Ameisengehirn), sondern extrahieren allein die Breite eines Objektes. Sie merken sich an einer bestimmten Stelle, dass z.B. der Baumstumpf eine Breite von X1 und der Pilz eine Breite von X2 hat, usw. Diese Werte werden in einer „Tabelle" gespeichert. Auf dem Rückweg vergleicht die Ameise die abgespeicherten Werte mit den aktuell sichtbaren und kann daraus zurückschließen, wo auf ihrem Weg sie sich befindet (Harris et al. 2007).

Hygienische Ameisen

Schmalbrustameisen (*Themnothorax albipennis*; vgl. Abb. 5) ziehen öfter um, wenn das alte Nest nicht mehr den gewünschten Standard aufweist. Die Kolonien dieser Ameisen zählen mit zu den kleinsten unter den Ameisen mit z.T. unter 100 Tieren pro Kolonie. Viele eusoziale Tiere, die neue Nistgelegenheiten suchen, verschaffen sich zuerst einen Überblick über ihr mögliches neues Heim und sind dabei durchaus wählerisch. Honigbienen überprüfen z.B. das Volumen einer Höhle, die Größe des Eingangs, die Höhe des Eingangs über dem Erdboden und die Himmelsrichtung. Die Schmalbrustameisen schätzen die Bodenfläche, begutachten möglichen Lichteinfall, testen die lichte Höhe der Höhlung und die Weite des Eingangs. Dabei kann es vorkommen, dass geeignete Nisthöhlen schon zuvor von Artgenossen benutzt wurden. Honigbienen ziehen Nistgelegenheiten vor, in denen sich bereits Waben von Vorläufern befinden und nehmen den Nachteil von möglicherweise sich herumtreibenden Krankheitserregern in Kauf. Dabei ist Hygiene an sich für eusoziale Insekten sehr wichtig. Man weiß von Blattschneiderameisen, dass angesammelte Blattreste und tote Ameisen die Sterblichkeit der Lebenden erhöhen. Franks und Mitarbeiter (2005) testeten Schmalbrustameisen auf diesen Aspekt hin. Sie legten den Ameisen Nisthöhlen vor, in denen entweder tote Ameisen oder Steinchen gleicher Größe und Anzahl vorzufinden waren. Lagen fremde tote Ameisen herum, nahmen von 14 Kolonien immerhin 4 das Nest mit Ameisen, aber 10 ein Nest mit Steinchen. Lagen tote Ameisen des eigenen Stammes herum, dann wurde immer nur das Nest mit Steinchen bezogen. Diese Experimente sind die ersten, die zeigen, dass Ameisen auch hygienische Aspekte ihren Entscheidungen zugrunde legen.

Niko Winkler

Literatur

Gronenberg W, Tautz J & Hölldobler B (1993) Fast trap jaws and giant neurons in the ant *Odontomachus*. Science *262*, 561.

Lönnig W-E & Becker H-A (2004) Carnivorous plants. In: Sciences NEoL, editor. Encyclopedia of Life Sciences. London: Nature Publishing Group. pp. 1-7.

Patek SN, Baio JE, Fisher BL & Suarez AV (2006) Multifunctionality and mechanical origins: ballistic jaw propulsion in trap-jaw ants. Proc. Natl. Acad. Sci. USA *103*, 12787-12792.

Behe MJ (1996) Darwin's black box. New York, USA: Free Press.

Wittlinger M, Wehner R & Wolf H (2006) The ant odometer: stepping on stilts and stumps. Science *312*, 1965-1967.

Wittlinger M, Wehner R & Wolf H (2007) The desert ant odometer: a stride integrator that accounts for stride length and walking speed. J. Exp. Biol. *210*, 198-207.

Harris RA, Graham P & Collett TS (2007) Visual cues for the retrieval of landmark memories by navigating wood ants. Curr. Biol. *17*, 93-102.

Franks NR, Hooper J, Webb C & Dornhaus A (2005) Tomb evaders: house-hunting hygiene in ants. Biol. Lett. *1*, 190-192.

[Nichts] Neues von Lucys Großfamilie

Lucys „Baby-Oma“ bestätigt menschenaffenartigen Körperbau

Zusammenfassung: **In Dikika, Äthiopien, ca. 70 km südlich von Hadar, wurde ein Teilskelett mit der Katalogbezeichnung DIK 1-1 eines 3-jährigen mutmaßlich weiblichen *Australopithecus afarensis* gefunden (Alemseged et al. 2006). Es ist mit 3,3 MrJ (Millionen radiometrische Jahre) knapp 0,2 MrJ (Wynn et al. 2006) älter als „Lucy“, ein vor über 25 Jahren entdecktes sensationell gut erhaltenes *A. afarensis*-Skelett. Der neue juvenile (jugendliche) Fund ist mit mindestens 50% Erhaltung noch um einiges vollständiger als „Lucy“ und damit das vollständigste Fossil früher Hominiden.**

Der neue Fund bestätigt viele frühere Erkenntnisse über den insgesamt menschenaffenartigen Körperbau, die kombinierten Fortbewegungsweisen (mosaikartige Morphologie), über eine allenfalls geringfügige Verzögerung der ontogenetischen Entwicklung gegenüber den Menschenaffen und die arboreale Fortbewegungsart dieser Art (Klettern im Geäst) (Wood 2006).

Erhaltungszustand. Das Teilskelett wurde von Forschern unter der Leitung von Zeresenay Alemseged vom Max Planck-Institut in Leipzig über eine lange Zeitspanne von 3 Jahren (Ende 2000-2003) ausgegraben und über 5 Jahre lang mühselig von anhaftender Sandsteinmatrix befreit. Der ganze obere Körper war in einem sehr kompakten Sandsteinblock eingebettet und mit der Sandsteinmatrix so stark verklebt, dass die Befreiung der Fossilien sozusagen Sandkorn um Sandkorn erfolgen musste und noch muss. Nun ist der Fund zumindest soweit freigelegt, dass eine Veröffentlichung in *Nature* möglich wurde (Abb. 1).

Die Erhaltung des Skeletts ist einer raschen Einbettung zu verdanken, möglicherweise durch eine plötzliche Überflutung verursacht. Ob das Tier bei der Flut umkam oder kurz zuvor starb, ist unklar. Es konnte jedoch nur kurze Zeit vor der Einbettung gestorben sein, da der Körper als Ganzes eingebettet wurde.

Das Skelett umfasst zum einen den ziemlich kompletten Schädel mit Gesicht und fast allen Zähnen, Schädelbasis und Gehirnschädel inklusive einem guten Gehirnabdruck, der unter den abgeplatzten Scheitelbeinen sichtbar wurde. Sehr ungewöhnlich ist der Nachweis des überaus zarten und fast nie erhaltenen Hyoids (Zungenbein), das für die Australopithecinen bislang völlig unbekannt war. Außerdem ist vom oberen Körperstamm die fast komplette Hals- und Brustwirbelsäule inklusive beider Schulterblätter, vieler Rippen und beider Schlüsselbeine erhalten. Außer vom körperfernen Ende des Oberarmknochens und dem rechten Mittelfingerknochen ist jedoch nichts von den Vorderextremitäten erhalten. Die untere Körperhälfte ist ebenfalls etwas fragmentarischer; das Becken fehlt, aber Teile der Oberschenkel inklusive Kniekapsel, größere Fragmente beider Schienbeine, ebenso ein fast komplettes Fußskelett sind vorhanden.

Geologisches und ontogenetisches Alter und die Bestimmung der Art. Jonathan Wynn von der Universität St. Andrews, England datierte zusammen mit Kollegen die über und unter dem Fund liegenden vulkanischen Sedimente auf 3,3 MrJ (Tephrostratigraphie). Die vulkanischen Aschen lassen sich anhand ihrer „chemischen Fingerabdrücke“ mit verschiedenen datierten Vulkaneruptionen korrelieren. Unter den gängigen Annahmen der radiometrischen Datierung scheint dieses recht genaue Ergebnis innerhalb der Fehlergrenze von +/– 40 000 rJ zu liegen.

Das ontogenetische Alter des Skelettes bei seinem Tod erfolgte durch Vergleiche mit heute lebenden Menschenaffen und Menschen: der Entwicklungsstand von Milch- und der Adultbezahnung (Zähne der Erwachsenen), die in Ober- und Unterkiefer als Keime angelegt sind und durch computertomographische Bildgebung gut untersucht werden können, ergeben ein ganz spezifisches Muster. Dieses Entwicklungsmuster stimmt am besten mit dem eines dreijährigen Schimpansen überein. Die Größe der fertig angelegten Adultzahnkronen soll zudem gleichzeitig ein Indiz für das

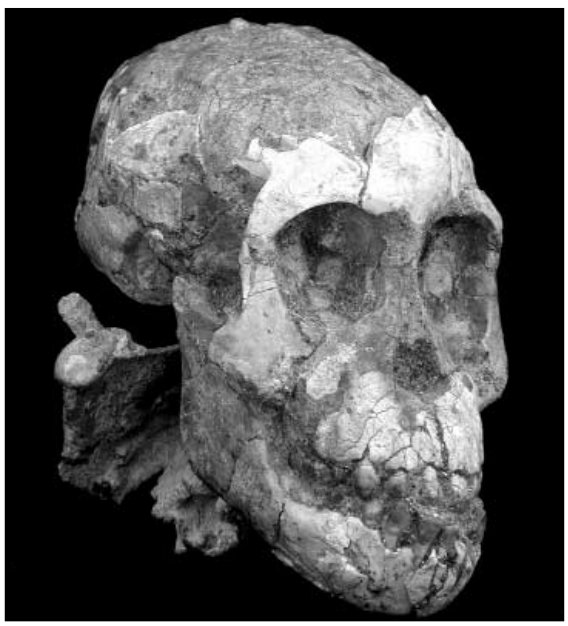


Abb. 1: „Es ist ein Mädchen! Das ‘älteste’ Baby stellt sich vor“ – so überschrieb die Pressestelle der Max-Planck-Gesellschaft am 20. September 2006 einen Bericht über den Fund des jugendlichen Australopithecus *DIK 1-1. Bild: National Museum of Ethiopia, Addis Ababa.*

Geschlecht sein: Die relativ kleine Kronengröße soll auf ein Weibchen hindeuten; die geringe Kronengröße kann aber auch andere Gründe haben.

Typisch für die Zugehörigkeit zu *A. afarensis* (im Unterschied zu *A. africanus*) sind die schmale Nasenöffnung, die fehlenden Knochenverstrebungen im Gesicht und die langen schmalen stundenglasförmigen Nasenbeine. Bei der Diagnose fehlt bemerkenswerterweise ein Vergleich mit der Gattung *Kenyanthropus*. Mit *Kenyanthropus platyops* gemeinsam hat der neue Fund – im Gegensatz zu *A. afarensis* – die relativ kleineren Zähne, einen kleinen äußeren Gehöreingang (wie bei Affen) und ein relativ flaches Gesicht. Dass der Vergleich mit *Kenyanthropus* nicht gezogen wird, könnte ein Indiz dafür sein, dass die Art *Kenyanthropus platyops* doch noch nicht genügend etabliert ist.

Fortbewegung – das bekannte Mosaik.

Der Erhaltungszustand des postkraniellen Skeletts bestätigt eine Reihe von Rückschlüssen bezüglich der Fortbewegungsart von *Australopithecus*, die vorher nicht in dieser Klarheit möglich war. Die Fragmente der Ober- und Unterschenkel sowie die Fußkonstruktion legen die Möglichkeit zur zweibeinig aufrechten Fortbewegung nahe. Die anderen Skelettmerkmale deuten eher auf eine arboreale Lebensweise hin.

> Die Stellung von *Australopithecus* im Übergangsbereich Menschenaffe – Mensch wird weiter in Frage gestellt.

Die Morphologie der Schulterblätter ist dezidiert affenähnlich. Sie erinnert an die eines Gorillas mit den mehr nach oben weisenden Gelenkpfannen. Der Gorilla ist ein schwergewichtiger Knöchelgeher, der in jungen Jahren das Hangeln ausübt, was sich in der Überkopfpositionierung des Schultergelenks zeigt. Eine weitere Bestätigung der hangelnden Fortbewegung bei den Australopithecinen ist der (einzig überlieferte) stark gekrümmte Fingerknochen, der an den eines dreijährigen Schimpansen erinnert. Schimpansen kommen mit nur leicht gebogenen Fingerknochen auf die Welt und entwickeln innerhalb der ersten Jahre durch das vermehrte Hangeln eine stärkere Krümmung.

Einen weiteren Hinweis auf die nicht-aufrechte Fortbewegung bieten winzige Strukturen im Innenohr, die für den Gleichgewichtssinn zuständig sind: Die Bogengänge, die der Orientierung im Raum dienen, sind drei in die drei Raumdimensionen weisende flüssigkeitsgefüllte Kanälchen. Ihre Konstruktion ist ähnlich der von Afrikanischen Menschenaffen und von *A. africanus*, und weist auf eine nicht-aufrechte Orientierung im Raum hin.

Da die Präparation noch nicht abgeschlossen ist und einige Skelettteile noch in der Sandmatrix stecken, können weitere wichtige Teile noch nicht diskutiert werden. So weiß man wenig über die Rippenform und ihre Anordnung zum Brustkorb (Tonnen- oder Trichterform), die für die Analyse der Körperhaltung und Fortbewegungsart von *A. afarensis* wichtig sind. (Entsprechend der anderen Befunde kann man erwarten, dass der Brustkorb trichterförmig wie beim Schimpansen und nicht tonnenförmig wie beim Menschen ist.)

Warum die Erkenntnis über die arboreale Fortbewegung die Autoren „geschockt“ hat, wie Co-Autor Fred Spoor in einem *Science*-Kommentar erklärte (Gibbons 2006), ist völlig unverständlich: Denn die kletternde Fortbewegungsweise war in den letzten Jahrzehnten häufig diskutiert worden – mit zunehmender Datenbasis, wenn auch diese Sichtweise von einigen Anthropologen heftig bekämpft wurde.

Bei diesen und ähnlichen Befunden scheint immer wieder ein uralter Streit zwischen zwei Hypothesen zur Fortbewegung aufzubrechen: Hielten sich „Lucy“ und ihre Kumpanen tatsächlich länger und gewohnheitsmäßig auf Bäumen auf oder haben sie diese affenähnlichen Merkmale nur als „Andenken“ an ihre Vorfahrenschaft mit sich herumgetragen, ohne sie zu benötigen? Für letztere Position gibt es jedoch keine empirische Basis. Die arboreale Lebensweise ermöglichte dieser Art, nächtliche Quartiere im Baum aufzusuchen, Räubern zu entkommen und Fruchtbäume zu plündern; das Merkmalsmosaik bezüglich der Fortbewegungsweise ist dadurch plausibel erklärbar. Der neue Hominide hat die erste Hypothese zusätzlich unterstützt.

Gehirnentwicklung – menschlich verlangsamt?

DIK 1-1 hat mit seinen 3 Lebensjahren ein geschätztes Gehirnschädelvolumen von maximal 330 ccm (275-330 ccm) und damit möglicherweise erst 65-88% des erwachsenen Gehirnvolumens erreicht (es werden für weibliche erwachsene *A. afarensis*-Formen 375-425 ccm veranschlagt). 3-jährige Schimpansen besitzen schon 90% der Größe der Erwachsenen. Aus diesem unterschiedlichen Verhältnis will man eine gewisse Verlangsamung der Entwicklung ablesen, was eine Tendenz in Richtung menschenartig langsame Entwicklung bedeuten könnte. Im Originalartikel jedoch wird betont, dass im Alter von 3 Jahren keine klare Unterscheidung zwischen Affen und Menschen möglich ist, da die Überlappungen der beiden Formen zu groß sind (eine gute Unterscheidung ist nur bei noch jüngeren Formen möglich). In einem Kommentar wird als mögliche Alternative für das kleine Gehirn auch ein schlechter Ernährungszustand angeführt (Gibbons 2006).

Über den Gehirnabdruck, der sich in der Sandsteinmatrix erhalten hat, wurde noch nichts veröffentlicht – er könnte interessante Aufschlüsse über die Position typischer Oberflächenstrukturen des

Gehirns ergeben, die Affe und Mensch unterscheiden.

Ein affenähnliches Zungenbein. Sehr interessant ist das erhaltene Zungenbein (Hyoid), ein fragiler Knochen des Stimmapparates, der in Fossilfunden nur sehr selten erhalten ist. (Das älteste bekannte Zungenbein stammt von einem Neandertaler.)

Die Morphologie des Dikika-Zungenbeins ist den afrikanischen Menschenaffen sehr ähnlich. Auch wenn man den Zusammenhang von Morphologie und Funktion beim Hyoid noch nicht gut kennt, vermutet man aufgrund der Ähnlichkeit mit den Afrikanischen Menschenaffen luftgefüllte Kehlsäcke im Schlund. Eine artikulierte Sprachfähigkeit wie beim Menschen ist damit recht unwahrscheinlich.

Fazit. Insgesamt bestätigen die Merkmale des neuen *Australopithecus*-Fund eine spezielle nichtmenschliche Morphologie. Die weithin verbreitete Vorstellung, die Gattung *Australopithecus* passe recht gut in ein Übergangsfeld zwischen ausgestorbenen Menschenaffen und dem Menschen, wird durch diesen neuen Fund weiter in Frage gestellt.

Sigrid Hartwig-Scherer

Literatur

Alemseged Z, Spoor F, Kimbel WH, Bobe R, Geraads D, Reed D & Wynn JG (2006) A juvenile early hominin skeleton from Dikika, Ethiopia. Nature *443*, 296-301.

Gibbons A (2006) Lucy's „Child" offers rare glimpse of an ancient toddler. Science *313*, 1716.

Wood B (2006) Palaeoanthropology: A precious little bundle. Nature *443*, 278-281.

Wynn JG, Alemseged Z, Bobe R, Geraads D, Reed D & Roman DC (2006) Geological and palaeontological context of a Pliocene juvenile hominin at Dikika, Ethiopia, Nature *443*, 332.

Hickhack um den „Hobbit"

Zusammenfassung: **2003 wurden auf der Insel Flores, Indonesien, mehrere Fossilien einer neuen menschlichen Art mit einer sehr geringen Körpergröße entdeckt. Der einzige erhaltene Schädel mit einem extrem kleinen Gehirn sorgte für große Aufmerksamkeit und heftige Diskussionen. Neue Publikationen zu diesem Fund haben die Kontroverse um diesen sogenannten „Hobbit"-Menschen neu angefacht. Die Meinungen darüber, worum es sich bei diesem Fossil handelt, werden mit jeder neuen Publikation kontroverser, da die Befunde kein klares Bild ergeben. Die Deutungsspielräume sind groß und eine Klärung ist möglicherweise sogar dann fraglich, wenn weitere Funde gemacht werden sollten.**

Bis vor kurzem waren sie nur als „Hobbits" aus Tolkiens Trilogie „Herr der Ringe" bekannt, sogenannte „Halblinge", die nur halb so groß waren wie Menschen. Doch im Jahr 2003 wurden solche Geschöpfe mit einem außerordentlich kleinen Gehirn auf der indonesischen Insel Flores in der Höhle Liang Bua gefunden und als eigene Spezies in die Literatur eingeführt (vgl. Hartwig-Scherer 2005). Die Finder (Brown et al. 2004) vertreten mit anderen Wissenschaftlern die These, dass es sich um eine eigene neue menschliche Art handelt – *Homo floresiensis*. In der ersten Publikation hielten sie sie für eine Zwergen- und Nachfolgeart von *Homo erectus*, während einige neuere Veröffentlichungen auch von einer kleinwüchsigen Art mit kleinem Gehirn ähnlich den nichtmenschlichen Australopithecinen sprechen (Argue 2006).

Die Einführung der neuen Art hatte einige heftige wissenschaftliche und teilweise politisch motivierte Einwände provoziert. Besonders ernstzunehmend war der Einwand aus morphometrisch-allometrischer Sicht, da das winzige Gehirn von weniger als 400 ccm, das vom einzigen erhaltenen Schädel mit der Katalognummer LB1 stammt, sämtliche Regeln der Gehirn-Körper-Relation (Allometrie) durchbrechen würde, wenn man den „Hobbit" zu *H. erectus* oder gar *H. sapiens* rechnet. Das Körperskelett lässt an der Zugehörigkeit zur Gattung *Homo* jedoch eher wenig Zweifel und in

Abb. 1: Mittlerweile ein Zankapfel: Der Schädel von Homo floresiensis. *(Zeichnung: Marion Bernhardt; nach Lahr & Foley 2004)*

gleichen geologischen Schichten fanden sich auch behauene Steinwerkzeuge (Morwood et al. 2004).

Zwischenzeitlich war der erste Streit etwas verebbt, doch ist er durch einige neue Veröffentlichungen wieder voll aufgeflammt. Der heftigste Gegner einer neuen Art war und ist der einflussreichste indonesische Paläanthropologe – Teuku Jacob – von der Universität in Jakarta, der seine Kritik nach 3 Jahren endlich im August letzten Jahres in einem referierten Journal allgemein zugänglich machte (Jacob 2006).

War das Gehirn des „Hobbits" pathologisch?

Jacob und seine Mitstreiter akzeptieren als Erklärung für diese absolute Winzigkeit des Schädels nur eine Abweichung in der Gehirnentwicklung, der funktionellen Microcephalie (abnorm geringes Größenwachstum bei Formen, die das Erwachsenenalter erreichen). Sie interpretieren die „Hobbits" als menschliche Pygmäe, nicht als neue Art. Er untermauert diese These damit, dass einige der Merkmale von LB1 sich bei den Rampasa-Pygmäen wiederfänden (spezielle Zahnmerkmale wie leicht verdrehte Prämolaren neben den *sapiens*-typischen Zahngrößenmuster M1 > M3) und dass die beobachteten Gesichtsasymmetrien in LB1 auf die Erkrankung hinweisen. (Andere Wissenschaftler, besonders die Finder, halten dagegen diese Asymmetrien für eine Folge der Kompression bei der Ablagerung des Fundes, dessen Konsistenz bei seinem Auffinden an nasses Löschpapier erinnerte.) Auch wenn die Form der (funktionellen) Microcephalie mit signifikanter Körpergrößenreduktion einhergeht, ist die Differenz zu den Rampasa-Pygmäen mit einer durchschnittlichen Körpergröße von 1,46 m doch sehr groß im Vergleich zu dem nur 1 Meter großen „Hobbit".

Dean Falk hatte 2005 versucht zu zeigen, dass LB1 weder mit dem Pygmäen- noch mit den Microcephalusschädeln, sondern am ehesten mit den normalen *(erectus)* Schädeln korrespondiert. Diese Veröffentlichung war wegen der kleinen Stichprobe von nur einem Microcephalus-Schädel kritisiert worden. Ein berechtigter Einwand ist der fehlende Vergleich mit modernen australomelanesischen Microcephaliden, was am ehesten die anstehende Frage klären könnte. Im Oktober hatte der „Allometriepapst" R. D. Martin vom Field Museum in Chicago einen Vergleich mit mehreren Mikrocephalen publiziert, die das erwachsene Alter erreicht haben. Er sieht sich zwar in seiner Microcephalie-Hypothese bestätigt, doch konnte er mit seiner Publikation nur Teilindizien vorlegen (Martin et al. 2006).

Jetzt legten Dean Falk und Mitarbeiter (2007) mit einer neuen Publikation und einer größeren Stichprobe – 9 menschliche Microcephalus-Schädeln, ein Pygmäenschädel und 10 normale menschliche Schädel – nach, um ihre These zu untermauern. Sie zeigten in ihrer Multivariatstudie, dass LB1 deutlich in die Gruppe normaler menschlicher Gehirne fällt. Trotzdem mahnen auch vorsichtigere Forscher, die Mircrocephalie nicht ganz außer acht zu lassen, da das Gehirn ihrer Meinung nach schon einige pathologische Eigenarten aufweise.

Schlussfolgerungen aus dem Werkzeuggebrauch?

Brumm und Mitarbeiter (2006) schlagen aufgrund neuer Untersuchungen eine phylogenetische Verbindung zu den Herstellern der auf über 800 000 rJ datierten Werkzeuge 50 km entfernt in Mata Menge vor, die man trotz fehlender Fossilien *H. erectus* zuschreibt (Morwood et al. 1998; Culotta 2006). Die zwischen 95 000 und 12 000 rJ alten Werkzeuge von Liang Bua, die gleichermaßen einfach wie einzigartig seien, ähneln in einigen Aspekten (Herstellungsart und Typ) sowohl den sehr alten als auch heute noch verwendeten Werkzeugformen australischer Ureinwohner. Eine sich über fast 1 MrJ erstreckende, sich entwickelnde menschliche Linie, sozusagen eine *in situ*-Evolution von *H. erectus* zu *H. floresiensis*? Da aber die Liang Bua-Werkzeuge ursprünglich als recht fortschrittlich beschrieben wurden, nahmen einige Kritiker dies als Beweis, dass *H. sapiens* deren Urheber war. Aus diesem Grund beeilten sich Brumm und Morwood (Culotta 2006), zu erklären, dass Werkzeuge, die wie (fortschrittliche) Klingen aussehen, tatsächlich gar keine Klingen sind und damit auch keine besondere Fertigkeit bei der Herstellung benötigen (sprich kein großes Gehirn). Dass einige der Werkzeuge solchen um 0,8 MrJ älteren Werkzeugen ähneln, sehen sie als Bestätigung ihrer These. Diese Bewertung der Güte der Werkzeuge ist jedoch offenbar rein evolutionstheoretisch motiviert. Der Befund, dass sich die Werkzeuge über einen langen Zeitraum hinweg ähneln, spricht eigentlich erst einmal dafür, dass es keine nennenswerte Veränderung gegeben hat, die eine mögliche geistige Entwicklung des Herstellers reflektieren könnte.

Ist der „Hobbit" ein Nachfahre von Australopithecus?

Ein weiterer Artikel in *Journal of Human Evolution* (Argue et al. 2006) erweitert das Meinungsspektrum um eine weitere Variante: er bestätigt zwar die Einführung einer neuen Art, behauptet aber, dass es sich nicht um eine verzwergte Art, sondern um eine Nachfolgeart der kleinwüchsigen Australopithecinen aus Afrika handle. Damit aber müsste also ein Australopithecine die Glanzleistung einer fast 20 km weiten Meeresüberquerung erbracht haben, was wiederum bisherigen Vorstellungen über die Fähigkeiten dieser Menschenaffengattung widersprechen würde. Gab es vielleicht mehrere ganz verschiedene Hominiden auf der Insel?

Die skurrilste Vorstellung über die Beziehung der Hobbits zu anderen menschlichen Formen ist die von Ralph Holloway (zitiert in Powledge 2006): Hobbits seien vielleicht Haustiere (oder Sklaven?) gewesen, die von *Homo sapiens* gehalten wurden,

um Holz oder tote Ratten zu sammeln. Dass eine solche Ansicht dem Ost-West-Kulturkampf, der in dieser Angelegenheit tiefe Gräben geschaffen hat (australoamerikanische gegen indonesische Wissenschaftler), nicht gerade zuträglich ist, liegt nahe.

Klärung durch neue Funde? In dieser festgefahrenen Lage und im Zwist zwischen den beiden Hauptfraktionen („neue Art" vs. „kranker Pygmäe") entsteht die Frage, ob nicht ein neuer Schädelfund diesen Streit ganz einfach beilegen würde. (Diese Frage ist nicht nur von akademischer Bedeutung, da den Australiern nämlich die Grabungserlaubnis erneuert wurde, die einige Zeit auf Eis gelegt worden war.) Spielen wir zu dieser Frage ein – noch – fiktives Szenario durch: Gesetzt den Fall 1, es käme ein Schädel in ganz „normaler" Zwergengröße zutage (also nicht mit einem allometrisch unerklärbar winzigen Gehirn), wäre es zunächst ein Sieg für die Microcephalie-Fraktion, und die geschockten Allometrie-Experten müssten sich nicht mehr um gestürzte Regeln grämen. Allerdings würde die Fraktion „neue Art" nicht so schnell klein beigeben:

> Möglicherweise gibt es Anlass, die Korrelation von Gehirngröße und Intelligenz neu zu überdenken.

der erste Fund manifestierte eben nur die kranke Form einer neuen Art, deren gesunden Schädel (mit allen diagnostischen Merkmalen der neuen Art) man nun in den Händen hielte.

Gesetzt den Fall 2, ein zweiter außergewöhnlich winziger Schädel würde entdeckt, dann wäre es eine Stärkung der Fraktion „neue Art". Doch dann würde die Fraktion „kranke Pygmäe" ebenfalls nicht ohne weiteres aufgeben und weiter auf den Pygmäenähnlichkeiten und auf der Beobachtung bestehen, dass – auch wenn diese Erkrankung sehr selten und damit umso seltener im Fossilbeleg zu finden ist – manche Microcephaluserkrankungsformen eine sehr starke genetische Komponente besitzen: da es eine Familie mit drei betroffenen Kindern gibt und andere, in denen die Krankheit in mehreren Generationen wiederholt auftritt, warum sollte das nicht auch einen Rampasasa-Pygmäen-Clan treffen, besonders auf einer inzuchtfördernden Insel?

Fazit. Die Kontroverse wird uns wohl erhalten bleiben – mit oder ohne neuen groß- oder kleingehirnigen Fund. Der Hobbit ist und bleibt erst einmal weiter ein Rätsel. Ralph Holloway wird in Powledge 2006 zitiert: „Ich weiß nicht, was die Hobbits sind – … aber sie werden nicht die Grundsätze der menschlichen Evolution verändern". Erfahrungsgemäß verändern Fakten selten die Grundsätze, aber sollte sich die unerhört kleine Gehirngröße einer werkzeugherstellenden und kulturschaffenden Menschenform bestätigen, hat die Evolutionsbiologie genügend Anlass, die Korrelation von Gehirngröße und Intelligenz neu zu überdenken.

Sigrid Hartwig-Scherer

Literatur

Argue D, Donlon D, Groves C & Wright R (2006) *Homo floresiensis*: Microcephalic, pygmoid, *Australopithecus* or *Homo*? J. Hum. Evol. *51 (7)*.

Balter M (2007) Small brains, big fight: „Hobbits" called new species. Science *315*, 583.

Culotta E (2006) How the hobbit shrugged: Tiny hominid´s story takes new turn. Science *312*, 983-984.

Culotta E (2006) But is it pathological? Science *312*, 983 (Box).

Culotta E (2006) Tools link Indonesian „Hobbits" to earlier *Homo* ancestor. Science *312*, 1293.

Culotta E (2006) Skeptics seek to slay the „hobbit", calling Flores skeleton a modern human. Science *313*, 1028-1029.

Brown P, Sutikna T, Morwood MJ, Soejono RP, Jatmiko, Wayhu Saptomo E & Rokus AD (2004) A new small-bodied hominin from the Late Pleistocene of Flores, Indonesia. Nature *431*, 1055-1061.

Brumm A, Aziz F, van den Berh GD, Morwood MJ, Moore MW et al. (2006) Early stone technology on Flores and its implications for *Homo floresiensis*. Nature *441*, 624-628.

Falk D, Hildeboldt C, Smith K, Morwood MJ, Sutikna T et al. (2005) The brain of LB1, *Homo floresiensis*. Science *308*, 242-245.

Falk D, Hildebolt C, Smith K, Morwood MJ, Sutikna, Jatmiko T, Wayhu Saptomo E, Imhof H, Seidler H & Prior F (2007) Brain shape in human microcephalics and *Homo floresiensis*. Proc. Natl. Acad. Sci. *104,* 2513-2518.

Hartwig-Scherer S (2005) Die Zwergenmenschen – Genetische Isolation führt zur Bildung von „Hobbits" auf indonesischer Insel. Stud. Int. J. *5*, 3-10.

Jacob T, Indriati E, Soejono RP, Hsu K., Frayer DW et al. (2006) Pygmoid australomelanesian *Homo sapiens* skeletal remains from Liang Bua, Flores: Population affinities and pathological abnormalities. Proc. Natl. Acad. Sci. *103*, 13421-13426.

Lahr MM & Foley R (2004) Human evolution writ small. Nature *431*, 1043-1044.

Martin RD, MacLarnon AM, Phillips JL & Dobyns WB (2006) Flores hominid – New species or microcephalic dwarf? Anat. Rec. A Discov. Mol. Cell Evol. Biol. *288A*, 1123-1145.

Martin RD, MacLarnon AM, Phillips JL, Dussubieux L, Williams PR & Dobyns WB (2006) Comment on „The brain of LB1, *Homo floresiensis*". Science *312*, 999.

Morwood MJ, O'Sullivan PB, Aziz F & Raza A (1998) Fission-track ages of stone tools and fossils on the east Indonesian island of Flores. Nature *392*, 173-176.

Morwood MJ, Soejono RP, Roberts RG, Sutikna T, Turney CSM, Westaway KE, Rink WJ, Zhao J-X, van den Bergh GD, Brown P, Due RA, Hobbs DR, Moore MW, Bird MI & Fifield LK (2004) Archaeology and age of a new hominin from Flores in eastern Indonesia. Nature *431*, 1087-1091.

Powledge TM (2006) What is the Hobbit? PLoS Biology *4*, 2186-2189.

Woher stammen kurzperiodische Kometen?

Messungen der Raumsonde „Stardust“ passen nicht in Entstehungstheorie

„Stardust“ und Kometenstaub. Die Schweifsterne in unserem Sonnensystem, auch Kometen genannt, werden üblicherweise in zwei Hauptgruppen unterteilt: Die kurzperiodischen Kometen mit einer Umlaufzeit um die Sonne unter 200 Jahren und die langperiodischen mit einer Umlaufzeit über 200 Jahren. Die beiden Gruppen unterscheiden sich neben der Umlaufzeit auch durch:

• Ihre Bahnneigung: Die kurzperiodischen Kometen bewegen sich nahe der Ekliptik (das ist die Ebene, in der sich die Erde um die Sonne bewegt). Die Neigungen der Bahnen der langperiodischen Kometen sind hingegen kugelsymmetrisch im ganzen Raum verteilt.

• Ihren vermeintlichen Ursprung: Die langperiodischen Kometen stammen nach gängiger Vorstellung aus der Oortschen Wolke, einem von Oort (1950) postulierten, aber nicht direkt beobachtbaren Kometenreservoir, aus dem immer wieder Kometen durch Störungen in das Innere des Sonnensystems gelangen sollen. Die kurzperiodischen Kometen sollen dagegen aus dem nach Kuiper (1951) genannten Kuipergürtel stammen, der sich viel näher an der Sonne außerhalb der Umlaufbahn von Neptun befindet.

Zum aktuellen Stand der Forschung siehe Korevaar (2002) und Korevaar (2004).

Neueste Ergebnisse der *Stardust*-Mission (interplanetare Weltraumsonde) stellen nun den Ursprung der kurzperiodischen Kometen in Frage. Die Zeitschrift *Science* berichtete in ihrer Ausgabe vom 15. Dezember 2006 darüber ausführlich in mehreren Beiträgen. Nach ihrem Abflug im Jahr 1999 erreichte *Stardust* den kurzperiodischen Kometen 81P/Wild 2 im Januar 2004 und lieferte im Januar 2006 eingesammeltes Material zur Erde zurück. Die *Stardust*-Mission ist die zweite erfolgreiche Kometenmission innerhalb eines Jahres. Zunächst brachte die Mission *Deep Impact* im Jahr 2005 neueste Erkenntnisse über den Kometen 9P/Tempel 1, indem sie durch Beschuss eine künstliche Kometenstaubwolke erzeugte, deren Studium wertvolle Informationen über die chemische Zusammensetzung dieses ebenfalls kurzperiodischen Kometen lieferte, siehe dazu Mumma (2005). Das Auswurfmaterial des Aufpralls konnte allerdings nicht direkt untersucht, nur das Spektrum aufgenommen und die Dichte des Kometen bestimmt werden. Daraus ergab sich, dass der Komet eine Dichte hat, die etwa 2/3 der Dichte von Wasser entspricht, was darauf hinweist, dass er wahrscheinlich porös ist.

Die *Stardust*-Mission ging anders an die Untersuchungen heran: Sie flog durch den Kometenschweif, fing dabei tausende Staubteilchen ein und brachte diese zur Erde zurück. Durch die sehr geschickt gewählte Bahn der *Stardust*-Sonde war ihre Geschwindigkeit fast gleich der Kometengeschwindigkeit, und die Teilchen wurden in Aerogel, einem der leichtesten und weichsten bekannten Materialien, aufgefangen. Dadurch sollte verhindert werden, dass die Teilchen beim Einfangen verformt und erhitzt wurden. Obwohl alle Teilchen kleiner als 1 Millimeter, die meisten sogar nur wenige Mikrometer groß sind, liefert dieser Kometenstaub erstaunliche Erkenntnisse über die Materialbeschaffenheit des Kometen und erlaubt somit, die gängig angenommene Entstehungstheorie zu überprüfen. Jedes Teilchen ist unter dem Mikroskop sozusagen ein Gesteins-„Brocken“ aus dem All. Zu dem beabsichtigten Sammeln von kometarem Staub hat sich allerdings auch interplanetarer und sogar – in Spuren – interstellarer Staub gemischt, was die Interpretation der Ergebnisse erschwert. Abgesehen von den Mondsteinen, die von den Apollomissionen zur Erde gebracht wurden, brachte *Stardust* nach der im Jahr 2004 unsanft gelandeten *Genesis*-Sonde[1] die zweite „Ladung“ an außerirdischem Material zur Erde – eine technische Höchstleistung!

Abb. 1: Stardust-Mission in der Darstellung eines Künstlers (http://stardust.jpl.nasa.gov/images/gallery/sc0297a.jpg)

Unerwartete Befunde. Kaum hatten die Forscher die ersten Teilchen untersucht, staunten sie nicht schlecht. Denn Komponenten der Kometenbrösel ähneln dem typischen Material aus dem inneren Teil des Sonnensystems. Sowohl die chemische

Stud. Int. J. 14 (2007), 38-39

Zusammensetzung als auch die kristallinen Formen lassen keinen Zweifel: Die meisten gemessenen Komponenten der Teilchen sind „gewöhnliches", teilweise kristallines Material, für dessen Entstehung ein heißer Prozess notwendig ist.

Dies ist deswegen so erstaunlich, weil dieser Befund der gängigen Theorie zur Entstehung kurzperiodischer Kometen widerspricht. Üblicherweise wird nämlich folgendes Szenario zur Entstehung des Sonnensystems angenommen: Sonne, Planeten und Kometen hätten sich aus einer Gaswolke gebildet, die sich durch die eigene Gravitation immer weiter verdichtete. Die langperiodischen Kometen seien im Laufe dieses Prozesses nahe der Protosonne[2] im heißen Innenbereich dieser Gaswolke entstanden und danach weit nach außen geschleudert worden, um so die Oortsche Wolke zu bilden. Aus diesem Grund wird für langperiodische Kometen auch eine Zusammenstellung wie im Inneren des Sonnensystems erwartet. Die kurzperiodischen Kometen hingegen hätten sich in ferner Distanz der Protosonne aus kaltem interstellarem Staub gebildet. Aufgrund dieses Szenarios dürften keine Spuren von Erhitzung vorhanden sein.

Soweit die theoretische Erwartung. Der *Stardust*-Befund zeigt eindeutig, dass dem nicht so ist: Der Komet Wild 2, der als Musterbeispiel für einen kurzperiodischen Kometen gilt, ist aus Materialkomponenten zusammengesetzt, die sich im Inneren des Sonnensystems gebildet haben. Denn die erwarteten amorphen[3] Körner fehlen fast vollständig, dagegen weisen die gefundenen Minerale typische kristalline Strukturen auf, die einen Bildungsvorgang bei hohen Temperaturen (über 1500 °C) benötigen, wie sie nur sehr nahe der sich bildenden Sonne erwartet werden.

Erklärungsversuche. Obwohl es sicherlich noch zu früh ist für handfeste Schlussfolgerungen, wird doch schon gemutmaßt, wie der überraschende Befund zu interpretieren sei. Zwei mögliche Erklärungen werden zur Zeit diskutiert.

1. Die meistgenannte Erklärung lässt die Hypothese, dass kurzperiodische Kometen aus dem Kuipergürtel stammen, unberührt. Stattdessen wird das Entstehungsszenario des Sonnensystems selbst erweitert: Es soll viel mehr Vermengung von Material, das nahe der Protosonne entstanden ist, mit Material weit weg von der Protosonne stattgefunden haben (Brownlee 2006). Die Protosonne wäre demnach viel aktiver gewesen als bislang angenommen und hätte ständig Material nach außen geschleudert. So wäre der Bereich des jetzigen Kuipergürtels massiv mit Material aus dem Inneren des sich bildenden Sonnensystems angereichert worden. Für Brownlee ist dies gar kein Erklärungsversuch, sondern eine Feststellung. Er schreibt: „Das wahrscheinlich unmittelbarste Ergebnis des *Stardust*-Analyseprogramms ist Information über großräumige Vermengung im Sonnennebel." Eine Prüfung mit Computermodellen, die diese Behauptung theoretisch untermauern könnte, steht freilich noch aus.

2. Einige Autoren zweifeln daran, ob Komet 18P/Wild 2 aus dem Kuipergürtel stammt. A'Hearn (2006) berichtet, dass neueste dynamische Berechnungen zeigen, dass kurzperiodische Kometen auch aus der Oortschen Wolke stammen können und damit automatisch eine Zusammenstellung wie im Inneren des Sonnensystems aufzeigen würden. Interessant an dieser Stelle ist, dass auch der vom *Deep Impact* beschossene kurzperiodische Komet 9P/Tempel 1, wovon oben berichtet wurde, ein Spektrum aufzeigt, das auf eine chemische Zusammensetzung eines langperiodischen Kometen hinweist. Damit stehen ausgerechnet die beiden ersten untersuchten kurzperiodischen Kometen im Verdacht, gemäß ihrer chemischen Zusammensetzung eher langperiodischen Kometen zu sein.

Welche Erklärung richtig ist, kann im Moment nicht mit Sicherheit gesagt werden. Fest steht lediglich, dass entweder die Theorie zur Entstehung des Sonnensystems oder die Theorie des Ursprungs der kurzperiodischen Kometen revidiert werden muss. Vielleicht sogar beide. Es ist immer wieder erstaunlich, dass vermeintlich sichere Theorien revidiert werden müssen, sobald neue Messdaten vorliegen. Diese Erkenntnis lehrt, dass Entstehungstheorien vorläufiger Natur sind und allgemein vorsichtig formuliert werden sollten. Dementsprechend ist es angebracht, auf ihre begrenzte Gültigkeit hinzuweisen.

Peter Korevaar

Literatur

Oort JH (1950) The structure of the cloud of comets surrounding the Solar System, and a hypothesis concerning its origin. Bull. Astron. Inst. Neth. *11*, 91.

Kuiper GP (1951) Astrophysics: A Topical Symposium. ed. J. A. Hynek, New York: McGraw-Hill.

Korevaar P (2002) Die rätselhafte Oortsche Wolke. Stud. Int. J. *9*, 79-82.

Korevaar P (2004) Der rätselhafte Ursprung der Kometen. Stud. Int. J. *11*, 78-80.

Mumma MJ et. al. (2005) Parent Volatiles in Comet 9P/Tempel 1: Before and After Impact. Science *310*, 270-274.

Brownlee D et. al. (2006) Comet 81P/Wild 2 Under a Microscope. Science *314*, 1711-1716.

A'Hearn (2006) Whence Comets? Science *314*, 1708-1709.

Anmerkungen

[1] Die Raumsonde *Genesis* sammelte Teilchen aus dem Sonnenwind ein und brachte sie in August 2004 zur Erde zurück.

[2] Eine Protosonne ist das Vorstadium eines Sterns während der Bildung aus einer Gaswolke.

[3] Amorphes Material hat im Gegensatz zu kristallinem Material keine geordnete Struktur.

Ein einfacher Zugang zum Leben?

Zusammenfassung: **In seinem jüngsten Beitrag zur Lebensentstehung kritisiert Robert Shapiro seine Kollegen, die aus seiner Sicht zu optimistisch in Bezug auf die Synthesen der benötigten chemischen Bausteine sind. Er zeigt, dass die Herstellung von Nukleinsäuren für die RNA-Welt so kompliziert ist, dass ihre Entstehung unter zufälligen Bedingungen praktisch nicht zu erwarten ist. Als Alternative dazu bevorzugt er selbst einen Einstieg ins Leben auf der Basis kleiner einfacher Moleküle, die wie in einem Stoffwechsel ein vernetztes Reaktionssystem ausbilden. Ein solches vernetztes System ist aber auf seine Weise nicht weniger komplex und seine Entstehung experimentell genausowenig belegt und theoretisch ebenso unplausibel wie eine RNA-Welt.**

Antwortversuche auf die Frage nach der Entstehung des Lebens finden regelmäßig den Weg in populäre Journale und die Wissenschaftsseiten der Tagespresse. Interessiert und gespannt verfolgen nicht nur Laien die verschiedenen Lösungsansätze, sondern auch eine Vielzahl von Wissenschaftlern, die mit ihren unterschiedlichen Modellen um die beste Antwort wetteifern.

Mit Robert Shapiro (2007) hat sich zum wiederholten Mal ein Chemiker zu Wort gemeldet, der bereits seit vielen Jahren die Diskussion über unterschiedliche Ideen zur Entstehung des Lebens mit kritischen Anmerkungen und Fragen bereichert hat. Der inzwischen emeritierte Professor für Chemie an der New York University hat sich in seinen Forschungen intensiv mit der Biochemie der Nukleinsäuren beschäftigt. Die Nukleinsäuren stellen in Form von DNA bzw. RNA die chemische Basis für die Vererbung dar; die Kenntnisse über diese Moleküle sind daher für Fragen der Lebensentstehung von besonderer Bedeutung. Gerade die Erfahrung Shapiros auf dem Gebiet der Nukleinsäurechemie verleiht seiner Kritik an einem derzeit favorisierten Modell zur Lebensentstehung – der sogenannten „RNA-Welt" – Gewicht.

Argumente für eine präbiotische RNA-Welt. Die Idee, dass der heute bekannten, auf DNA und Proteinen basierenden Biochemie ein System aus RNA-Molekülen vorausging, wird vor allem durch die Beobachtung gestützt, dass manche RNA-Moleküle (sog. *Ribozyme*) die Fähigkeit zur enzymähnlichen Katalyse biochemischer Reaktionen (Stoffwechsel) und zur Speicherung und Weitergabe genetischer Information (Replikation) verbinden. Damit scheinen sie eine Lösung für ein klassisches Henne-Ei-Problem im Bereich der Lebensentstehung anzubieten, da sie Eigenschaften der DNA und von Enzymen in sich vereinigen: Zum einen müssen biochemische Reaktionen katalysiert werden, damit sie unter milden (d. h. für das Leben verträglichen) Bedingungen ablaufen; diese Funktion wird in heutigen Organismen weitgehend von Enzymen erfüllt. Daneben ist zum anderen auch sicherzustellen, dass bei der Vermehrung erster lebender Systeme (Replikation) die typischen Eigenschaften des Systems erhalten bleiben und an die nächste Generation weitergegeben werden. An den entsprechenden Prozessen in sich teilenden Zellen ist die RNA als wichtige Komponente bei der Transkription und Translation (Übersetzung der genetischen Information in Proteine) beteiligt. Ribozyme haben daher in Fragen der Lebensentstehung besonderes Interesse erlangt.

In Laborexperimenten konnte auch gezeigt werden, dass sich Ribozyme mit unterschiedlichsten, aus der Natur unbekannten enzymatischen Funktionen gezielt synthetisch herstellen und optimieren lassen. Neben den genannten Besonderheiten von RNA spielen sie auch als Bestandteil vieler Cofaktoren bei enzymkatalysierten Reaktionen eine wichtige Rolle. Das interpretieren manche Autoren als Relikte aus einer Zeit, als die RNA zentrale Bedeutung hatte, und sprechen von „molekularen Fossilien".

RNA-Welt = Beginn des Lebens? Eine Vielzahl von Autoren auf dem Gebiet der Lebensentstehung verbindet mit dem Begriff RNA-Welt nicht nur die Vorstellung, dass RNA der heute bekannten Biochemie vorausgeht, sondern sehr viel weitergehend, dass die Entstehung des Lebens mit dem ersten Auftreten von replikationsfähigen RNA-Molekülen zusammenfällt. In vielen Vorschlägen zur Definition von Leben kommt zum Ausdruck, dass in der Fähigkeit zur Replikation ein elementares und essentielles Charakteristikum für Leben gesehen wird.

In seiner kritischen Analyse dieser umfassenderen Sicht der RNA-Welt-Hypothese weist Shapiro darauf hin, dass es ein Unterschied ist, ob man es für plausibel hält, dass der heute bekannten Biochemie auf der Basis von Proteinen und Nukleinsäuren eine Epoche vorausgegangen sein könnte, in der Replikationseinheiten auf der Basis von RNA-Molekülen frühe Lebewesen repräsentierten, oder ob man die starke Behauptung aufstellt, dass die Entstehung der RNA der entscheidende Schritt zur Entstehung des Lebens ist.

Die Vorstellung, dass RNA-Moleküle den Anfang des Lebens darstellen, ist jedoch schon allein dadurch massiv in Frage gestellt, dass bis heute keine Synthese für RNA vorgestellt werden konnte, von der man glaubhaft machen könnte,

Stud. Int. J. 14 (2007), 40-43

dass sie auch außerhalb von Labors und ohne den Einfluss von auf RNA-Synthese spezialisierten Chemikern ablaufen könnte.

Shapiro (2007) geht in seiner Kritik einiger Kollegen noch einen Schritt weiter und hält ihnen vor, eine Position zu vertreten, die er als „molekularen Vitalismus“ bezeichnet. Vertreter der RNA-Welt nehmen an, dass es einen natürlichen Trend zur bevorzugten Synthese solcher Moleküle bzw. deren Bestandteilen gebe. Angesichts der unüberschaubar großen Zahl alternativer Moleküle, die durch organische Reaktionen entstehen können, erscheint diese Sicht nicht begründbar, sondern eher Wunschvorstellungen zu entsprechen.

Er verweist darauf, dass in den experimentellen Untersuchungen zur Synthese von RNA-Bausteinen komplexe Reaktionen durchgeführt wurden, die in vielen aufeinander folgenden Schritten kunstvoll konzipiert sind. Dabei werden Zwischenstufen für spätere Reaktionen in reiner Form und in hohen Konzentrationen eingesetzt, was zufälligen und ungesteuerten Abläufen nicht im Entferntesten entspricht. Shapiro stellt klar, dass eine der größten Herausforderungen in der organischen Chemie darin besteht, komplizierte Naturstoffe zu synthetisieren. Er selbst hat seine Doktorarbeit unter Anleitung eines der ganz großen Künstler der Naturstoffsynthese – Robert B. Woodward – angefertigt. Leider – so fährt er fort – waren auf der frühen Erde weder Chemiker noch Labors vorhanden, um RNA zu synthetisieren. Mit spitzer Feder vergleicht der Autor diese Vorgehensweise mit der Behauptung, ein Golfball könnte ohne Golfspieler, ausschließlich aufgrund natürlicher, zufälliger Ereignisse (wie z.B. Erdbeben, Tornados, Überflutungen etc.) eine 18-Loch-Anlage bewältigen, wenn nur genügend Zeit zur Verfügung stehe.

Suche nach einfacheren Replikationssystemen.

Einwände der genannten Art motivierten die Suche nach einfacheren Molekülen mit der Fähigkeit, Replikationssysteme zu etablieren. Von solchen konnten bisher in der Biochemie jedoch keine Spuren entdeckt werden. Sie müssten vollständig verschwunden und ersetzt worden sein. Aber auch einfachere langkettige Moleküle sind mit dem Problem konfrontiert, dass bei der Synthese unter präbiotischen Bedingungen immer auch kleine Bausteine auftreten, die den Aufbau von Makromolekülen effektiv verhindern.

Sieht Shapiro nach dieser umfangreichen und nachhaltigen Kritik an der RNA-Welt noch eine Perspektive? Gibt es plausible Alternativen, wenn er die Vorschläge von zufälligen Synthesen replikationsfähiger Makromoleküle ablehnt?

Shapiro unterstützt eine Vorstellung, die bereits von prominenten Chemikern vorgestellt wurde, wonach nicht die Replikation, sondern der Stoffwechsel bei der Entstehung des Lebens die entscheidende Rolle gespielt haben soll. Solche Konzepte wurden bereits von Wissenschaftlern wie Alexander Oparin, Christian de Duve, Freeman Dyson, Stuart Kauffman, Harold Morowitz und Günter Wächtershäuser vertreten. Das Konzept basiert auf einem Verständnis von Leben, bei dem thermodynamische Aspekte und vernetzte Reaktionen von kleinen Molekülen (Stoffwechsel) eine wichtige Rolle spielen. Shapiro verweist auf eine Vorstellung von Leben, die Carl Sagan in der *Encyclopedia Britannica* formuliert hat. Ein System, in dem Ordnung in Stoffkreisläufen durch Energieeinspeisung zunimmt (Entropie abnimmt), wird als lebendig betrachtet. Dabei spielen nicht komplexe Makromoleküle, sondern vergleichsweise einfach gebaute Moleküle mit geringem Molekulargewicht eine Rolle. Shapiro charakterisiert diesen Ansatz in fünf Punkten:

(1) Das System muss begrenzt sein, d.h. vergleichbar heutigen Zellen könnten die beteiligten Moleküle durch Membranen eingeschlossen oder aufgrund elektrostatischer Wechselwirkungen an Oberflächen von Mineralkristallen fixiert sein. Auch kleine Flüssigkeitströpfchen (Aerosol) oder kleine Teiche (eine bereits von Charles Darwin formulierte Idee) werden von verschiedenen Autoren diskutiert.

(2) Eine Energiequelle muss die Reaktionen und damit die Organisation des Systems aufrechterhalten. Verschiedene Möglichkeiten sind vorstellbar, wie z.B. Redoxreaktionen, bei welchen Elektronen von einer reduzierten Substanz auf eine

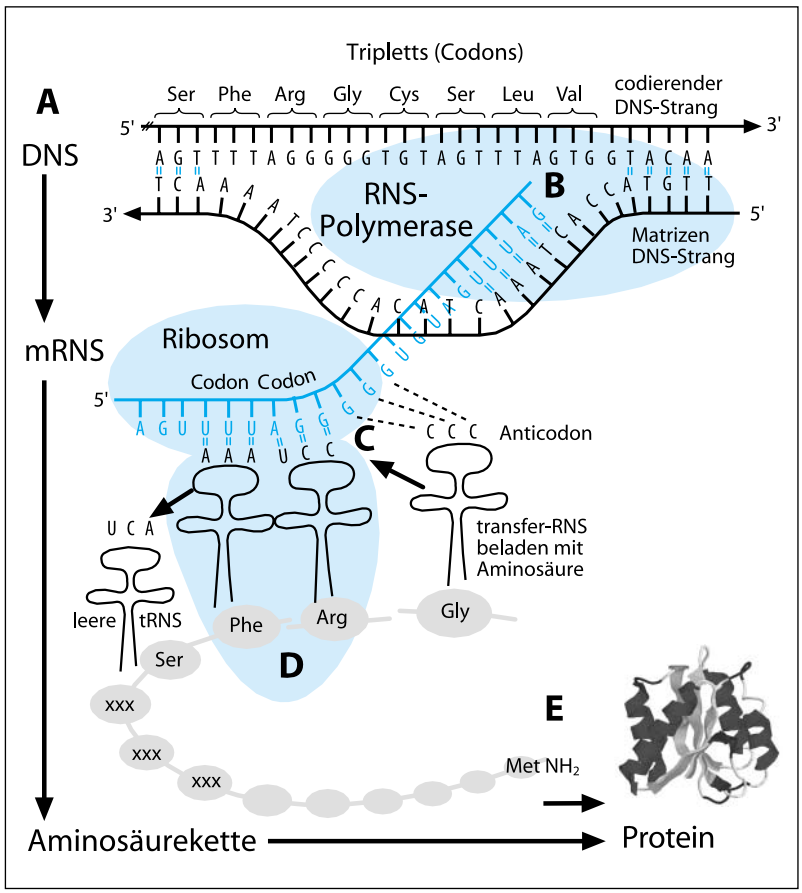


Abb. 1: Schematische Darstellung der biochemischen Synthese von Proteinen. Auf welche Komponenten könnte man verzichten? Wie erhält man die denkbar einfachsten notwendigen Verbindungen? (Aus Junker & Scherer, Evolution – ein kritisches Lehrbuch, Gießen 2006)

oxidierte übertragen werden. In der Photosynthese wird Strahlungsenergie biochemisch nutzbar gemacht. Membranpotentiale, Radioaktivität und Temperaturdifferenzen stellen weitere nutzbare Energiequellen dar. SHAPIRO traut Redoxreaktionen als Energiequellen am meisten zu.

(3) Die Energie muss für die Reaktionen wirksam verknüpft werden. Das bedeutet, dass die beteiligten Reaktionen über gemeinsame Zwischenstufen miteinander gekoppelt sein müssen. Diesem Stoffwechsel-Modell liegt die Annahme zugrunde, dass gekoppelte Reaktionen und primitive Katalysatoren in der Natur vorhanden waren, um Leben zu initiieren.

(4) Als zentralen Aspekt nennt SHAPIRO, dass sich die in (3) geforderten Reaktionsketten zu geschlossenen Reaktionszyklen umwandeln. Diese sollen durch Verzweigungen zu Netzwerken von Reaktionszyklen führen, die sich bei Änderungen äußerer Bedingungen entsprechend anpassen können.

(5) Durch Wachstum von Systemen mit vernetzten Reaktionszyklen sollen sich diese physikalisch bedingt teilen, wie z.B. Mizellen, die eine kritische Größe erreichen. Durch diese Art der Vermehrung existieren getrennte und voneinander unabhängige Einheiten, die in ihren weiteren Veränderungen unterschiedliche Wege beschreiten können. So könnte Evolution nach DARWINS Vorstellungen in Gang kommen.

> Der Kessel, in dem die Zutaten für die Entstehung des Lebens gekocht werden sollen, ist nach derzeitigem Wissen leer.

Das Modell für die Entstehung des Lebens auf der Basis eines Stoffwechselsystems mit einer Vielzahl *kleiner* Moleküle weist keinen Mechanismus für die Vererbung auf, d.h. es gibt keine Moleküle, die Information speichern und übertragen können. Unter Verweis auf das Beispiel einer Einkaufsliste und einer Tasche mit den entsprechenden Lebensmitteln behauptet SHAPIRO (2007), dass die Liste und die Tasche dieselbe Information enthalten. Er ist davon überzeugt, dass die unter (1) bis (5) genannten Forderungen unter natürlichen Umständen gewährleistet sind und sein Modell somit viel wahrscheinlicher ist als eine kunstvolle vielstufige Synthese komplexer Makromoleküle, die als Replikatoren fungieren könnten.

SHAPIRO gesteht ein, dass zu dem von ihm bevorzugten Modell der Lebensentstehung auf der Basis eines Stoffwechselsystems mit vielen kleinen Molekülen in der Vergangenheit viele Veröffentlichungen theoretischer Natur erschienen seien, aber wenig experimentelle Arbeiten. In den wenigen experimentellen Arbeiten sind bisher zudem nur ausschließlich *isolierte, einzelne* Schritte untersucht worden.

Für SHAPIRO müsste in einem entscheidenden Experiment eine erste Startreaktion identifiziert werden, in der kleine Moleküle umgesetzt werden. Diese Reaktion müsste mit einer geeigneten Energiequelle verknüpft werden. Wenn man zu einem solchen System eine Mischung einfacher kleiner Moleküle (die durch zufällige Reaktionen entstehen könnten und vermutlich auf der frühen Erde verfügbar waren) hinzufügt, dann könnte sich ein oben skizziertes Netzwerk aus gekoppelten Reaktionen entwickeln. Dies müsste sich darin zeigen, dass die Konzentration der beteiligten Stoffe im Laufe der Zeit zunimmt, aber sich auch verändern kann. Ein erfolgreiches Experiment könnte die ersten Schritte der Lebensentstehung demonstrieren, ohne dass damit gezeigt wäre, dass die Abläufe in der Vergangenheit genau so waren, aber es wäre ein starkes Argument für das zugrunde liegende Prinzip. Nach SHAPIROS Ansicht wäre für diesen Fall Leben auch gar nicht sehr unwahrscheinlich, sondern es wäre zu erwarten, dass weitere, ganz andere und uns bisher unbekannte Lebensformen im Universum existieren.

Kritik. SHAPIRO ist seiner scharfen Kritik an der RNA-Welt-Hypothese zuzustimmen, wenn er sie aufgrund der chemischen Probleme bei den notwendigen Syntheseschritten zum Aufbau komplexer Makromoleküle als nicht plausibel charakterisiert. Der von ihm unterstützte und als aussichtsreich beschriebene Vorschlag für die Lebensentstehung infolge eines Stoffwechselsystems auf der Basis kleiner einfacher Moleküle weist allerdings ebenfalls erhebliche Schwierigkeiten auf. Zum einen fehlen bisher experimentelle Hinweise für solche Systeme. Als erster Schritt könnte ein solches System ja gezielt entworfen werden, um abschätzen zu können, welche Minimalvoraussetzungen erfüllt sein müssen; ein solcher Entwurf wurde bisher aber nicht vorgestellt. Zum anderen ist die Komplexität, die SHAPIRO für die Synthese von Nukleinsäuremolekülen als Hauptkritikpunkt ins Feld führt, bei der von ihm favorisierten Alternative in den vernetzten Reaktionszyklen genauso enthalten, wenn auch in anderer Form: Hier sind zwar die Moleküle vergleichsweise einfach, aber die Systemvoraussetzungen hochkompliziert. Vermutlich liegt genau hierin die Ursache, warum noch keine experimentellen Untersuchungen dazu vorliegen. Trifft diese Vermutung zu, dann gilt SHAPIROS Kritik auch für das von ihm selbst unterstützte Modell.

Eine Zwischenüberschrift aus seiner Veröffentlichung aufnehmend kann man feststellen: Der Kessel, in dem die Zutaten für die Entstehung des Lebens gekocht werden sollen, ist nach derzeitigem Wissen leer! Dies trifft aber nicht nur – wie

Shapiro schreibt – auf die RNA-Welt zu, sondern ebenso auf das von ihm bevorzugte Konzept, bei welchem ein „Stoffwechsel" mit kleinen Molekülen am Anfang steht.

Harald Binder

Literatur

Shapiro R (2007) A simpler origin for life. Sci. Am. (online-Vorabveröffentlichung 12.2.2007, eine überarbeitete Version ist für eine der folgenden Ausgaben von Scientific American angekündigt.) http://www.sciam.com/article.cfm?chanID=sa003&articleID=B7AABF35-E7F2-99DF-309B8CEF02B5C4D7&pageNumber=8&catID=4

Entstehung des Lebens – Alternative Modelle in Frage gestellt

Der Chemiker Günter Wächterhäuser hat mit mehreren Veröffentlichungen im Jahre 1988 in die Diskussionen um Modelle zur Lebensentstehung eingegriffen. Zunächst zeigte er die schwerwiegenden Schwachstellen verschiedener bisheriger Vorstellungen auf, um dann seine Version theoretisch zu entfalten. Sein Vorschlag zur Chemie der Lebensentstehung weist Ähnlichkeiten mit anderen auf, die man unter dem Begriff „Stoffwechsel-Anfang" zusammenfassen könnte. Nach diesen Vorstellungen haben anfänglich verschiedene kleine Moleküle in eingegrenzten Reaktionsräumen ein Netzwerk aus verschiedenen chemischen Reaktionen etabliert. Diese chemischen Umwandlungen werden nach Wächtershäuser durch Energie aus Redoxreaktionen an der Oberfläche von Eisensulfid (FeS)-Mineralien gespeist.

In den nachfolgenden Jahren hat er zusammen mit Mitarbeitern experimentelle Untersuchungen für einzelne Ausschnitte seines Modells vorgelegt. Zuletzt beschrieben Huber & Wächtershäuser (2006) Laboruntersuchungen, in denen sie aus Kaliumcyanid (KCN) und Kohlenmonoxid (CO) als Kohlenstoff(C-)-Quellen α-Hydroxy- und α-Aminosäuren synthetisierten. Sie wählten Bedingungen, von denen sie glauben, dass sie vulkanischen oder hydrothermalen (heiße, mineralreiche Quellen im Bereich der Mittelozeanischen Rücken) Umgebungen entsprechen. Die Autoren erheben den Anspruch, mit ihren Ergebnissen die Lücke zwischen Biochemie und Geochemie von Vulkanen verringert zu haben und damit neue Wege zu weisen für die Erforschung der Lebensentstehung unter vulkanischen und hydrothermalen Bedingungen.

Kritik. Dieser Anspruch wird von einer Gruppe von Autoren, die bereits eigene Beiträge zur präbiotischen Chemie vorgelegt haben, kritisiert (Bada et al. 2007). Die Kritiker erheben folgende Einwände:

• Die Konzentrationen der in den Experimenten als Kohlenstoffquellen eingesetzten Verbindungen (KCN und CO) sind – gemessen an plausiblen präbiotischen Bedingungen – unrealistisch hoch; außerdem ist KCN ist unter den gewählten Reaktionsbedingungen nicht stabil.

• Die nachgewiesenen Reaktionsprodukte und

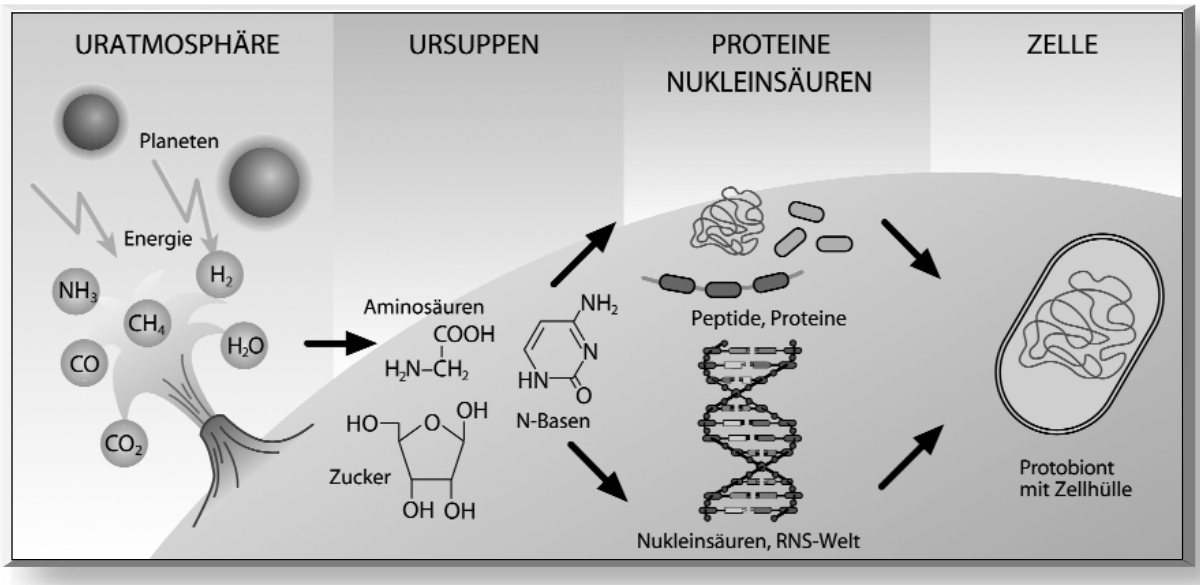


Abb. 1: Vorstellungen zur Entstehung des Lebens; die bisherigen Erfahrungen mit chemischen Synthesen im Labor zeigen keinen plausiblen Weg dafür, wie die benötigten Verbindungen zufällig zustandekommen könnten. (Aus Junker & Scherer, Evolution – ein kritisches Lehrbuch, Gießen 2006)

deren Mengenverhältnisse sind denen von Ursuppenexperimenten ähnlich; diese werden aber gerade von WÄCHTERSHÄUSER stark kritisiert.

• In Ursuppenexperimenten fallen typischerweise durch Polymerisation von Cyaniden teerähnliche Produkte an, dadurch wird die Ausbeute an benötigten Stoffen verringert. HUBER & WÄCHTERSHÄUSER betonen, dass in ihren Experimenten keine teerähnlichen Polymere anfallen und sehen darin einen Hauptunterschied zu den von ihnen kritisierten Ursuppenexperimenten. Die Kritiker halten dem nun entgegen, dass das durch den Einsatz der Metallkatalysatoren leicht nachzuvollziehen sei. Sie unterstellen, dass in einem der Versuche von HUBER & WÄCHTERSHÄUSER, bei dem kein Katalysator eingesetzt wurde, Polymerisationsprodukte entstanden seien. Und stellen so abschließend fest, dass

• die Resultate von WÄCHTERSHÄUSER & HUBER (2006) mit Vorstellungen von modernen Vorstellungen zur Ursuppenchemie verträglich sind und keine grundsätzliche Alternative darstellen.

> Derzeit liegt kein plausibles Modell zur Lebensentstehung vor.

Entgegnung. In ihrer Erwiderung skizzieren WÄCHTERSHÄUSER & HUBER (2007) zunächst noch einmal ihre Vorstellung von einem „Pionierorganismus", der sehr rasch und aufgrund eindeutiger Mechanismen entstehen soll, und zwar durch autokatalytische Fixierung von Kohlenstoff in einem Lavastrom im Kontakt mit Katalysatoren aus Übergangsmetallen. Unter „Pionierorganismus" verstehen sie z.B. ein sich auf einer Mineraloberfläche vervielfältigendes Reaktionssystem, das Kohlenstoff fixiert *– ein solcher Komplex unterscheidet sich allerdings sehr deutlich von den üblichen Vorstellungen von einem Organismus.*

Demgegenüber erfordert nach ihrer Sicht die Ursuppentheorie einen langwierigen, mechanistisch unklaren Selbstorganisationsprozess, der in einem kalten Ozean ablaufen soll, in dem sich über lange Zeit organische Substanzen ansammeln.

Auf die Einwände der Kritiker eingehend, stellen WÄCHTERSHÄUSER & HUBER fest:

• Die eingesetzten Metallionen (Fe^{2+} und Ni^{2+}) bilden Komplexe mit den Cyanidionen, diese seien stabil und zeigten vollkommen andere Eigenschaften als Cyanidionen in Lösung.

• Die hohen CO-Drücke wurden eingesetzt, um höhere Reaktionsgeschwindigkeiten zu erzielen, die Reaktionen laufen auch bei verminderten CO-Konzentrationen ab.

Aus der Perspektive der Kritiker stellen die synthetisierten Verbindungen lediglich Komponenten für die Ursuppe dar, während WÄCHTERSHÄUSER & HUBER darin einen Beleg für ein katalysiertes Reaktionssystem erkennen, in welchem Kohlenstoff fixiert wird und schließlich zur Reproduktion des gesamten Systems führen kann.

WÄCHTERSHÄUSER & HUBER (2007) weisen abschließend nochmals auf die grundlegenden Unterschiede der beiden Erklärungsmodelle hin und behaupten, dass für Ursuppen-Modelle immer nur Teilaspekte experimentell zugänglich sein werden, während sie von ihrer eigenen Vorstellung von einem „Pionierorganismus" erwarten, dass sie komplett experimentell untersucht werden kann.

Fazit. Die hier vorgestellte Diskussion bestätigt, dass zur Zeit kein plausibles Modell zur Lebensentstehung vorliegt. Die Vertreter unterschiedlicher Vorstellungen zeigen mit ihrer fundamentalen Kritik die Lücken der jeweils anderen Modelle auf. Die Suche nach ungeplanten und ungesteuerten chemischen Vorgängen, die zur Entstehung von Leben führen könnten, scheint derzeit nicht erfolgversprechend zu sein. Dies gilt umso mehr, als selbst von Versuchen, minimale Lebenssysteme gezielt nachzubauen, d.h. unter Ausnutzung allen Know-hows und aller Technologie bis heute keine durchschlagenden Erfolge vermeldet wurden.

Harald Binder

Literatur

HUBER C & WÄCHTERSHÄUSER G (2006) α-Hydroxy and α-amino acids under possible hadean, volcanic origin-of-life conditions. Science *314*, 630-632.

BADA JL, FEGLEY JR. B, MILLER SL, LAZCANO A, CLEAVES HJ, HAZEN RM & CHALMERS J (2007) Debating evidence for the origin of life on earth. Science *315*, 937-938.

WÄCHTERSHÄUSER G & HUBER C (2007) Response. Science *315*, 938-939.

Supernovaüberreste: Alter um 80% reduziert

Eine Supernova ist eine gewaltige Sternexplosion, bei welcher eine Schockwelle aus stellarem Material (Material von Sternen) in den Weltraum geschleudert wird. Trifft diese Schockwelle auf das interstellare Medium, wird dieses stark erhitzt und emittiert Röntgenstrahlen (d. h. es werden Röntgenstrahlen erzeugt). Dabei bilden sich auch starke Magnetfelder, deren Entstehung jedoch noch nicht in allen Details verstanden ist. Elektronen, die beim Schock beschleunigt werden, senden in diesem Magnetfeld Synchrotronstrahlung aus, die durch das ganze Spektrum von Radiowellen bis Röntgenstrahlung beobachtet werden kann.

Bereits in den 1960er Jahren wurde vermutet, dass die Supernovaüberreste mit der Bezeichnung RCW 86 zur Supernova AD 185 gehören könnten, die chinesische Astronomen im Jahr 185 n. Chr. aufgezeichnet hatten. An diesem Zusammenhang wurden jedoch seit Ende der 1980er Jahre zunehmend Zweifel geäußert. Der Grund dafür war, dass RCW 86 einerseits offenbar zu weit entfernt sei und andererseits viel älter als das historische Alter von AD 185 (z.B. Rosado et al. 1996). Aufgrund der Expansionsgeschwindigkeit seiner Schockwelle in einer bestimmten Region wurde RCW 86 nämlich auf ein Alter von etwa 10.000 Jahren geschätzt. Dieses Ergebnis wurde nun aufgrund von neuen Untersuchungen durch die beiden Röntgensatelliten Chandra und XMM-Newton in Frage gestellt. Anhand von genaueren Messungen der Synchrotronstrahlung in der nordöstlichen Region von RCW 86 gelangten Vink et al. (2006) zu einer direkten Abschätzung des Magnetfeldes in dieser Region, aus welchem sich dann die Expansionsgeschwindigkeit der Schockwelle gewinnen lässt. Diese wurde nun viel höher gemessen als in früheren Untersuchungen, womit auch das Alter der Supernova-Überreste automatisch geringer wird. Als eine obere Altersgrenze wurde etwa 2200 Jahre angegeben.

Wie kam es zu den unterschiedlichen Geschwindigkeitsabschätzungen? Vink et al. schlagen folgendes Szenario vor: Durch die stellaren Winde des ursprünglichen Sterns wurde vermutlich ein Teil des umliegenden Gases in eine gewisse Richtung gedrückt, womit sich um den Stern eine Art „Blase“ von verdichtetem Gas bildete. Trifft dann die Schockwelle auf diese Blase, wird sie relativ schnell gebremst. Hat diese Blase nun eine irreguläre Form, erhält die Schockfront je nach Ort eine andere Geschwindigkeit. Diese Überlegungen stehen in Übereinstimmung mit dem gemessenen Röntgenspektrum von RCW 86.

Durch sein geringes Alter wird eine Identifizierung von RCW 86 mit AD 185 wieder denkbar. Vink

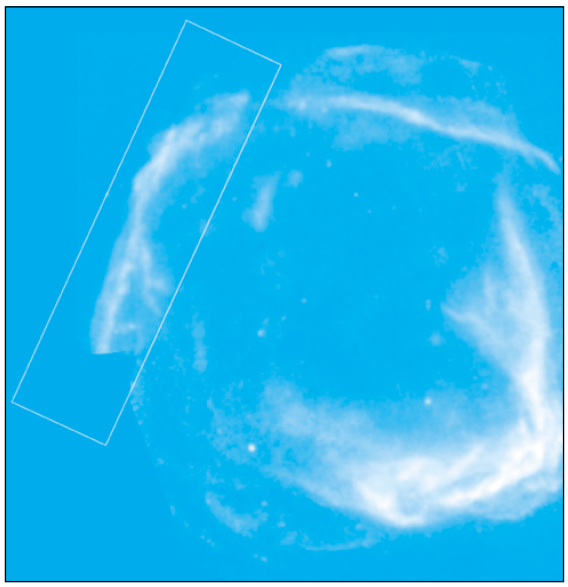


Abb. 1: Aufnahmen der Supernova-Überreste RCW 86 im Röntgenbereich mit den Satelliten XMM-Newton und Chandra. Gut sichtbar ist die expandierende Schale des ehemals explodierten Sterns. (Chandra: NASA/CXC/Univ. of Utrecht/J. Vink et al., XMM-Newton: ESA/Univ. of Utrecht; http://chandra.harvard.edu/photo/2006/rcw86/)

drückte sich in einem Interview vorsichtig aus (Bryner 2006): „Ich denke, es ist sehr interessant, dass wir nun mit einiger Zuversicht, jedoch nicht mit absoluter Sicherheit, sagen können, dass RCW 86 die Überreste von AD 185 sind.“

Bemerkenswert an dieser Geschichte ist, dass es offenbar ohne weiteres möglich ist, das Alter der Überreste einer Supernova von etwa 10.000 auf 2.000 Jahre umzudatieren. Das ist immerhin eine Korrektur von 80%. Damit wird beispielhaft deutlich, wie vorläufig wissenschaftliche Erkenntnisse in der Astrophysik sein können.

[Bryner J (2006) Astronomers Find Supernova First Spotted 2,000 Years Ago. www.space.com/ scienceastronomy/060926_st_ancient_supernova.html; Rosado M, Le Coarer E & Marcelin M (1996) Kinematics of the galactic supernova remnants RCW 86, MSH 15-56 and MSH 11-61A. Astronomy & Astrophysics *315*, 243-252; Vink J, Bleeker J, van der Heyden K, Bykow A, Bamba A & Yamazaki R (2006) The X-ray synchrotron emission of RCW 86 and the implications for its age. Astrophys. J. *648*, 33-37.] *CK*

Wie sicher sind Standardkerzen zur Entfernungsmessung im Kosmos? Der Ausreißer: Die Supernova 2003fg

Weil sie so schön weithin sichtbar leuchten werden Supernovae (SN) gerne für Entfernungsmessung im Kosmos verwendet. Mit ihrer Hilfe bestimmt man Entfernungen von Galaxien im Bereich zwischen 10 Millionen und 10 Milliarden Lichtjahren.

Die ermittelten Entfernungen wiederum spielen beim Aufstellen kosmologischer Modelle eine Rolle. Allerdings eignen sich nicht alle Supernovae, sondern nur eine bestimmte Kategorie: die Supernovae Ia gelten als sogenannte kosmologische

„Standardkerzen", da bei einer solchen Supernovaexplosion im Wesentlichen immer derselbe Vorgang abzulaufen scheint. Ihre Verwendung zur Entfernungsmessung wird als sehr zuverlässig erachtet. Warum und wie das funktioniert, soll im Folgenden zunächst erläutert werden:

Gemäß dem gängigsten Modell zur Entstehung von Supernovae Ia zieht in einem Doppelsternsystem ein Weißer Zwerg Materie von seinem Begleiter ab, wodurch sich seine eigene Masse erhöht. Dieser Anstieg kann aber die sog. Chandrasekhar-Masse von ca.1,4 Sonnenmassen nicht übersteigen, denn sonst wird der Weiße Zwerg instabil. Durch den erhöhten Druck starten explosive thermonukleare Reaktionen, die den Stern schließlich ohne verbleibenden Rest völlig auseinander sprengen. Diese Explosion ist so hell, das sie eine ganze Galaxie überstrahlen kann, wobei die maximale Helligkeit der SN Ia erst nach gut zwei Wochen erreicht wird.

Dabei ist die Leuchtkraft einer SN Ia während ihres Intensitätsmaximums physikalisch vorgegeben. Bei der thermonuklearen Explosion entsteht u.a. das Isotop Nickel-56.

Der anschließende Zerfallsprozess dieses Isotops über Cobalt-56 zum stabilen Eisen-56 hält die hinausgeschleuderte Materie heiß und führt schließlich zum Intensitätsmaximum (Branch 2006). Die zeitlich unterschiedliche Zusammensetzung sichtbarer Elemente kann über eine sogenannte Lichtkurve verfolgt werden, d.h. das Lichtspektrum wird im Abstand weniger Tage über einen Zeitraum von mehreren Wochen bis Monaten aufgenommen. Anhand dieser Lichtkurve lassen sich Supernovae Ia von anderen Sternexplosionen unterscheiden. Berücksichtigt man noch die mögliche Absorption des Lichts auf dem Weg zu uns aufgrund von interstellarem Staub, kann daher aus der beobachteten scheinbaren Helligkeit einer SN Ia während des Intensitätsmaximums im Vergleich zur Leuchtkraft einer standardisierten SN Ia auf die Entfernung geschlossen werden.

Dieser Zusammenhang ist allerdings mit Fluktuationen behaftet; die Masse des erzeugten Nickel-56 schwankt und damit die maximale Leuchtkraft. Es besteht jedoch zusätzlich eine empirisch festgestellte Relation zwischen der maximalen Leuchtkraft und dem beobachteten Abklingen der Helligkeit des blauen Lichtanteils über die ersten 15 Tage nach dem Helligkeitsmaximum (Mazzali et al. 2007). Bei leuchtstärkeren SN Ia klingt die Lichtintensität langsamer ab als bei schwächeren (Filippenko 1997). Man verwendet daher die „Breite" der Lichtkurve zur Kalibrierung der maximalen Leuchtkraft einer SN Ia. Die Brauchbarkeit von SN Ia zur Entfernungsmessung wurde zudem anhand einiger SN überprüft, die in Galaxien auftraten, deren Entfernungen bereits anderweitig bestimmt werden konnten, mit sehr guter Übereinstimmung (siehe z.B. Pailer & Krabbe 2006 und Literaturangaben darin).

Zwar gab es vereinzelt auch Ausreißer besonders heller (z.B. SN 1991T) oder schwacher (z.B. 1991bg) SN Ia, diese folgten jedoch dem bekannten Zusammenhang zwischen maximaler Leuchtkraft und Lichtkurve (Filippenko 1997), so dass ihre Entfernungen dennoch korrekt bestimmt werden konnten. Kürzlich sorgte dann aber jedoch ein in *Nature* erschienener Artikel (Howell et al. 2006) über eine wesentlich zu helle Supernova (SNLS-03D3bb bzw. SN 2003fg) für Irritationen. Zum einen lag ihr Helligkeitsmaximum beim 2,2-fachen einer durchschnittlichen SN. Zum anderen folgte sie *nicht* der üblichen Relation zwischen maximaler Leuchtkraft und Lichtkurve. Aus der Leuchtkraft kann man die Masse des Vorgängersterns abschätzen. Für SN 2003fg ergibt sich dabei eine zweifache (!) Sonnenmasse. Daraus ergeben sich zwei Konsequenzen.

Zum einen ist die Erklärung dieser speziellen Supernova eine Herausforderung für die theoretischen Modelle, da man bisher davon ausging, dass Weiße Zwerge nur bis zur 1,4-fachen Sonnenmasse stabil seien. SN Ia mit einem Vorgängerstern mit Super-Chandrasekhar-Masse kann man sich am ehesten in „jungen" stellaren Umgebungen vorstellen. Das passt wiederum zum beobachteten Trend, wonach übermäßig helle SN Ia bevorzugt in solchen „jungen" Umgebungen auftreten.

Zum anderen eignet sich SN 2003fg nicht als Standardkerze, solange die Ursachen für die Abweichung nicht verstanden und ggf. in ein revidiertes Modell für SN Ia integriert werden können. Durch ihre krasse Abweichung fällt sie momentan aber auf und wird einfach aussortiert. Möglicherweise existieren jedoch SN, deren abweichendes Verhalten nicht auffällig genug ist. Was passiert, wenn man sie übersieht? Man setzt möglicherweise ihre absolute Helligkeit über die Relation Leuchtkraft-Lichtkurve als zu niedrig an, was letztlich zu einer zu kleinen Entfernung führen würde (Branch 2006). Die Helligkeit nimmt über die Entfernung quadratisch ab. Würde man also zum Beispiel aus dem Helligkeitsverlauf von SN 2003fg auf ihre maximale Helligkeit schließen, erhielte man eine um den Faktor 1,45 (Wurzel aus 2,2) zu geringe Entfernung, d.h. ihre tatsächliche Entfernung ist knapp eineinhalb mal so groß wie die angenommene. Weniger drastische Ausreißer führen zu weniger drastischen Abweichungen. Dennoch könnte daraus ein Effekt für Entfernungsmessungen und somit für kosmologische Modellbildungen resultieren.

SN 2003fg befindet sich in einer Galaxie mit vergleichsweise hoher Rotverschiebung von z=0,24. Generell sind übermäßig leuchtstarke SN bevorzugt in jungen stellaren Umgebungen zu erwarten (s.o.). Mit zunehmender Rotverschiebung nimmt der Mittelwert des stellaren Alters ab. Damit geht dann eine Veränderung der durchschnittlichen

Eigenschaften von Supernovae des Typs Ia einher. Weichen diese auch noch wie SN 2003fg vom bekannten Zusammenhang zwischen Lichtkurve und Leuchtkraft ab, so ist eine Kalibrierung nicht mehr möglich (Howell et al. 2006). Das könnte insofern zu einem Trend führen, indem man dabei für SN Ia mit hoher Rotverschiebung eine zu kleine Entfernung annimmt

[Branch D (2006) Champagne supernova. Nature *443*, 283-284; Filippenko AV (1997) Optical Spectra of Supernovae. Annu. Rev. Astron. Astrophys. *35*, 309-355; Howell DA et al. (2006) The type Ia supernova SNLS-03D3bb from a super-Chandrasekhar-mass white dwarf star. Nature *443*, 308-311; Mazzali PA, Röpke FK, Benetti S & Hillebrandt W (2007) A Common Explosion Mechanism for Type Ia Supernovae. Science *315*, 825-827; Pailer N & Krabbe A (2006) Der vermessene Kosmos. Holzgerlingen, S. 39-42.] *DT*

Zellkernhaltige Zellen älter als gedacht

Bisher vermutete man, dass Zellen mit Zellkern, sogenannte Eukaryoten, im Laufe einer Evolution erst entstanden sind, *nachdem* Cyanobakterien die Atmosphäre mit Sauerstoff angereichert hatten. Dieses Ereignis liegt – nach herkömmlicher Zeitrechnung – 2,3 Milliarden Jahre zurück. Nach der Anreicherung von Sauerstoff in der Atmosphäre soll es anschließend eine globale ca. 100 Millionen Jahre lange extreme Eiszeit gegeben haben (Schneeball-Erde). Erst danach, vor etwa 1,7 Milliarden Jahren, sollen Eukaryoten auf der Weltbühne erschienen sein. Neue Beweise für das Vorhandensein von Eukaryoten *vor* diesen Zeitpunkten fanden sich in winzigen, in Quarz eingeschlossenen Öltropfen. Diese Öltropfen wurden analysiert und Buick und Mitarbeiter von der Washington Universität in Seattle fanden in Proben, die 2,4 Milliarden Jahre alt sind, Sterole, u.a. auch Cholesterol. Diese Moleküle sind biogenen Ursprungs und werden nahezu ausschließlich von Eukaryoten hergestellt. Diese Befunde haben im Rahmen der Evolutionstheorie mehrere Auswirkungen: Zum einen muss Sauerstoff auf der Erde schon lange *vor* der Oxygenierung der Atmosphäre produziert worden sein. Des Weiteren kann die Erde nicht so extrem abgekühlt sein, wie einige Modelle dies vorschlagen, und Eukaryoten betreten demnach die Bühne des Lebens *zusammen* mit den Archaea, nicht danach. Interessant ist auch noch die folgende Aussage von Buick: „Bisher dachte man, dass komplexe Kohlenwasserstoffe im Laufe der Zeit abgebaut werden. Die Tatsache, dass sie viele Milliarden Jahre überlebten, zeigt, dass wir auch auf dem Mars nach Leben suchen könnten." Was aber, wenn die Erde gar nicht so alt ist und die Biomoleküle nur deshalb intakt gefunden werden? Oder andersherum: Könnte man aus intakten Biomolekülen auf eine junge Erde schließen? Ähnliche Überlegungen gelten auch für DNA und gar lebende Bakterien aus Bernstein.

[Holzman D (2006) Eukaryotes apparently appeared far earlier, about when archaea arose. Microbe *1*, 355-356] *NW*

Sind die ältesten Tierfossilien „nur" Bakterien?

Die Deutung von Fossilien kann mitunter ausgesprochen schwierig sein, insbesondere wenn sie fast mikroskopisch klein sind. So wird durch eine neue Studie die Deutung bedeutsamer früher Tierfossilien aus dem oberen Präkambrium in Frage gestellt: Nach ihrer Entdeckung zunächst als älteste fossile Nachweise von Embryonen von Vielzellern interpretiert (Xiao et al. 1998), entpuppen sich Fossilien der Gattungen *Parapandorina* (Abb. 1) und *Megasphaera* aus der Doushantuo-Formation aus China nun vermutlich als Riesenbakterien (Bailey et al. 2006). Dies ergab sich durch einen Größen- und Proportions-Vergleich mit *Thiomargarita*, dem größten heute lebenden Bakterium, das in Sedimenten vor der Küste Namibias und im Golf von Mexiko entdeckt wurde. *Thiomargarita* ist etwa so groß wie die Doushantuo-Fossilien, und ist mit einer großen zentralen Vakuole und vielen kleinen Vakuolen ausgefüllt. Bei der Teilung entsteht ein Gebilde, das einem Vierzellstadium eines Vielzellers gleicht. Solche Teilungsstadien täuschen also im fossilen Erscheinungsbild wenigzellige Embryonen vor. Die Tatsache, dass solche Teilungsstadien in großer Zahl in den Doushantua-Phosphoriten vorkommen, jedoch keine ausgewachsenen Exemplare gefunden wurden, sperrt sich gegen die Deutung der Fossilien als Tierembryonen (Donoghue 2006, 155).

Dennoch kann der Fall nicht *ad acta* gelegt werden. Denn auch die Deutung von *Parapandorina* und *Megasphaera* als Riesenbakterien ist nicht in jeder Hinsicht stimmig: Beispielsweise sind von *Thiomargarita* nur maximal 3 Abfolgen einer Zellteilung (8 zusammenhängende Zellen) bekannt, während bei *Parapandorina* Aggegrate von über 100 Zellen bekannt sind, was mindestens 7 Teilungsstadien erfordert. Die Klassifikation der Fossilien kann daher nicht als geklärt gelten (Donoghue 2006, 156). Es bleibt dabei, was Donoghue (2006) einleitend in seinem Kommentar feststellte: „Der Ursprung der Tiere ist fast ein solches

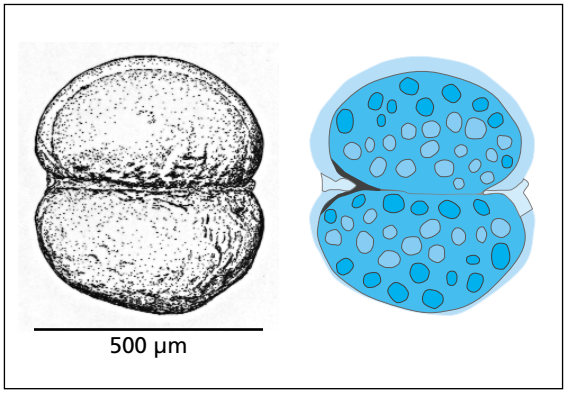


Abb. 1: Zeichnerische und graphische Darstellung von Parapandorina *aus der Doushantuo-Region Südchinas, nach Fotos aus Donoghue (2006), rechts nach einem Foto mit Röntgen-Mikrotomographie, mit zahlreichen Vakuolen. Eine neue Studie deckte einige Ähnlichkeiten mit Riesenbakterien auf.*

Geheimnis wie der Ursprung des Lebens." Wie weit die evolutionäre Geschichte des tierischen Lebens ins Präkambrium reiche, sei reich an Spekulationen und spärlich an Belegen.

[Bailey JV, Joye SB, Kalanetra KM, Flood BE & Corsetti FA (2006) Evidence of giant sulphur bacteria in Neoproterozoic phosphorites. Nature *445*, 198-201; Donoghue PCJ (2006) Embryonic identity in crisis. Nature *445*, 155-156; Xiao S, Zhang Y & Knoll AH (1998) Three-dimensional preservation of algae and animal embryos in a Neoproterozoic phosphorite. Nature *391*, 553-558.] *RJ*

Neues Szenario zur Entstehung der Insekten

Gliederfüßer mit sechs Beinen (Hexapoda), darunter als Hauptgruppe die Insekten, sind die vielseitigste Gruppe unter den heutigen Lebewesen, sowohl was ihre Artenzahl als auch was ihre Lebensräume betrifft. Dennoch wird über ihren Ursprung kontrovers diskutiert. Mit diesen Feststellungen beginnen Glenner et al. (2006) einen Kurzbeitrag über den Ursprung der Insekten in *Science*. Als „Schlüsselproblem" betrachten sie die fast vollständige Abwesenheit von Fossilien, welche die Hexapoden mit den anderen größeren Gliederfüßergruppen verbinden. Dazu gehören die Crustaceen (Krebsartige), Myriapoden (Hundert- und Tausendfüßer) und die Cheliceraten wie Skorpione und Spinnen. Während die Crustaceen schon im Oberkambrium (vor ca. 510 Millionen Jahren nach üblicher Datierung) fossil überliefert sind, tauchen die Hexapoden erst 100 Millionen Jahre später ab dem Devon auf.

Auch die Merkmalsverteilungen dieser Gruppen legen offenbar keine eindeutigen Verwandtschaftsbeziehungen nahe: die Hexapoden wurden im Laufe der Zeit mit allen eben genannten Gliederfüßergruppen schon stammesgeschichtlich verbunden – ein sicherer Hinweis auf die mosaikartige bzw. baukastenartige Verteilung von Merkmalen, die sich gegen ein klares Abzweigungsschema sperrt.

Traditionell wurden die Hexapoden mit den Myriapoden aufgrund morphologischer (gestaltlicher) Ähnlichkeiten zusammengefasst. Molekulare Daten und neuere morphologische Studien dagegen deuten auf eine Verwandtschaft der Hexapoden mit den Crustaceen hin, während neurologische Studien eine Verbindung der Myriapoden mit den Cheliceraten nahelegen. Insgesamt zeigt sich einmal mehr, dass morphologische und molekulare Daten nicht ohne weiteres zusammenpassen und sich nicht gegenseitig stützen.

Die durch die neueren Studien gewonnenen Daten ermöglichen nun aber ein neues evolutionäres Szenario der Entstehung der Hexapoden. Sie könnten von einer vornehmlich im Süßwasser lebenden Untergruppe der Crustaceen, den Branchioden (zu denen z. B. Wasserflöhe gehören) abgeleitet werden. Diese stammesgeschichtliche Beziehung würde auch gut zum zeitlichen Auftreten in der Fossilüberlieferung passen. Allerdings gibt es auch hier einen Widerspruch zwischen morphologischen und molekularen Daten: Erstere verbinden die Hexapoden eher mit den Krabben und Flusskrebsen, letztere eher mit den genannten Branchiostomen, die aber bezüglich der Fossilberlieferung besser passen. Die Hexapoden sollen demnach relativ spät im Süßwasser entstanden sein und von dort aus das Land erobert haben,während sie nach bisherigen Vorstellungen schon viel früher unter marinen (meerischen) Verhältnissen im Kambrium entstanden sein sollen.

Dass die auf Land so unvergleichlich erfolgreichen Hexapoden nicht mehr die Wasserlebensräume erobern konnten, wird darauf zurückgeführt, dass dieser Lebensraum schon besetzt gewesen sei. Evolutionstheretisch gedacht erscheint dies aber angesichts des ungeheuren „Erfolgs" der Hexapoden mindestens zweifelhaft und eine *ad-hoc*-Annahme. Das neue Entstehungsszenario ändert auch nichts an den markanten fossilen Lücken wie auch den eingangs erwähnten Merkmalswidersprüchen.

[Glenner H, Thomson PF, Hebsgaard MB, Sorensen MV & Willerslev E (2006) The Origin of Insects. Science *314*, 1883-1884.] *RJ*

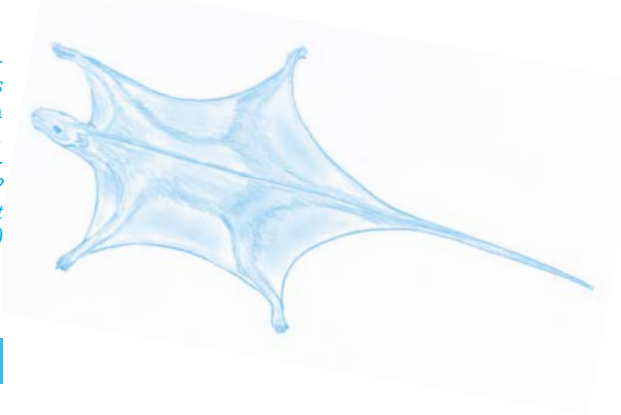


Abb. 1: Rekonstruktion des Gleiters Volaticotherium antiquum. (Nach www.membrana.ru/print.html?1166109420; dort gibt es viele weitere Bilder)

Früher Gleiter

Die Fähigkeit zum Gleitflug findet sich in einer ganzen Reihe von Tiergruppen, so bei Reptilien, Fröschen, Fischen und Säugern. Zur Geschichte des Gleitflugs bei jenen Säugetieren lieferten Meng et al. kürzlich interessante neue Ergebnisse. Mindestens siebenmal unabhängig soll die Gleitfähigkeit allein bei Säugetieren – auf vier verschiedene Säugetierordnungen verteilt – entstanden sein – ein bemerkenswertes Beispiel von Konvergenz. Dabei galt bislang die Gruppe der Fledertiere als die erste, die den Luftraum erobert haben soll, und zwar im Untereozän (ca. 50 Millionen Jahre nach radiometrischen Datierungen). Nagetiere mit der Fähigkeit zum Gleitflug tauchen fossil erst vor ca. 30 Millionen Jahren auf. Es schien daher eine klare Sache zu sein, dass die Eroberung des Luftraumes durch Säuger erst recht spät, in der Erdneuzeit, vonstatten gegangen war.

Ein Team US-amerikanischer und chinesischer

Wissenschaftler berichtete nun jedoch in *Nature* über einen spektakulären Fund, der ein erhebliches Umschreiben der Geschichte der Flugfähigkeit unter Säugern erfordert: ein zum Gleiten befähigtes Säugetier aus der Unterkreide. *Volaticotherium antiquum* (etwa „altes Flugtier“) heißt das gerade einmal 12-14 cm lange und 70g schwere, heutigen Flughörnchen ähnelnde und sich allem Anschein nach von Insekten ernährende Tier, dessen Fossil bei Daohugou in der Inneren Mongolei Chinas gefunden wurde (vgl. Abb. 1). (Die Namensbezeichnung wurde nachträglich von *antiquus* auf *antiquum* geändert: Nature *446*, 102.) Die von den Forschern zwischen Vorder- und Hinterextremitäten ausgemachte, dicht mit Haaren besetzte Struktur wurde als Flughaut identifiziert. Mit einem geologischen Alter von 125 Millionen Jahren beweist dieser Fund, dass schon im Erdmittelalter durch die Luft gleitende Säugetiere lebten. Völlig unabhängig von der Entstehung der Fledermäuse und Flughunde hätten damit einige Kleinsäuger folglich schon mindestens 70 Millionen Jahre früher die Fähigkeit des Gleitfluges erworben.

Der Fund demonstriert einmal mehr, dass frühe Säuger in ihren Fortbewegungsstrategien und Lebensstilen äußerst verschiedenartig waren. Diese erstaunliche Diversifikation in einem solch frühen Stadium der Geschichte der Säugetiere war evolutionstheoretisch früher nicht erwartet worden und reiht sich ein in eine ständig länger werdende Liste von Bauplantypen, die bereits zu Zeiten der „primitiven“ Säuger hochspezialisiert waren (Martin 2006; Luo & Wible 2005; vgl. Junker 2005; Junker & Scherer 2006, 230f.).

Bemerkenswert ist nicht nur, dass durch diese Entdeckung eine neue Ordnung („Volaticotheria“) geschaffen wurde; sie wirft auch eine in der Schulwissenschaft bislang unangebrachte Frage auf: Waren es tatsächlich die Vögel oder nicht doch sogar die Säuger, welche den Luftraum als erste eroberten? Das häufige unabhängige (konvergente) – und nun auch äußerst frühe – Auftreten der Fähigkeit zum Gleitflug stellt evolutionstheoretische Deutungen auf eine harte Probe.

[Martin T (2006) Early Mammalian Evolutionary Experiments. Science *311*, 1109-1110; Luo ZX & Wible JR (2005) A late Jurassic digging mammal and early mammalian diversification. Science *308*, 103-107; Meng J et al. (2006) A Mesozoic gliding mammal from northeastern China. Nature *444*, 889-893; Junker R & Scherer S (2001) Evolution – ein kritisches Lehrbuch; Junker R (2005) Alte Termitenfresser. Stud. Int. J. *12*, 88.] *CH*

„Modernes“ Neunauge aus dem Devon

Neunaugen (Petromyzontida) sind fischähnliche Wirbeltiere mit aalartigem langgestrecktem Körper. Zusammen mit den Schleimfischen (Myxinoidea) werden sie zu den Rundmäulern (Cyclostomata) zusammengefasst, die insgesamt ca. 60

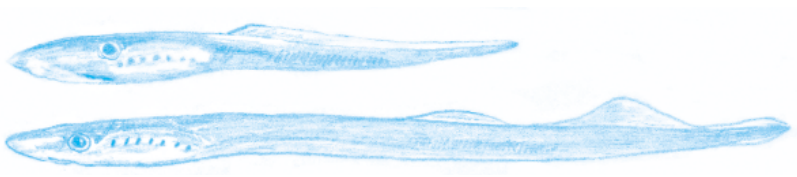


Abb. 1: Reconstruktion of Priscomyzon riniensis *(oben) im Vergleich mit dem heute lebenden Neunauge* Lampetra fluviatilis *(unten). (Nach Gess et al. 2006)*

Arten umfassen. Sie besaßen keine Kiefer und auch keine paarigen Flossen, sondern einen flossenartigen Rücken- und Schwanzsaum. Unter anderem aus diesen Gründen gelten sie als stammesgeschichtlich primitiv. Andererseits sind sie ausgesprochen spezialisiert und leben als Parasiten, die sich mit ihrem rundlichen, mit Hornzähnen gesäumten Maul an Fischen festaugen, Blut trinken und Fleischstücke herausraspeln. Der Name „Neunauge“ entstand durch den augenartigen Eindruck, den die Nasenöffnung und die sieben seitlichen Kiemenspalten erwecken. Fossilien von ihnen sind kaum bekannt, die bislang ältesten Formen beider Untergruppen stammten aus dem Karbon.

Bis zum Ende des 20. Jahrhunderts wurden die Rundmäuler als „degenerierte“ Abkömmlinge der gepanzerten Kieferlosen (als Ostracodermi zusammengefasst) betrachtet, die aus dem Ordovizium bis zum Devon fossil überliefert sind (Janvier 2006, 921).

Nun haben Wissenschaftler ein gut erhaltenes Fossil eines Neunauges *(Priscomyzon riniensis)* in marinen (meerischen) Ablagerungen des Oberdevons in Grahamstown/Südafrika gefunden (Gess et al. 2006; Abb. 1). Es weist alle typischen spezialisierten Merkmale heutiger Neunaugen auf und unterscheidet sich von diesen nur in geringfügigen Details. Der Körperbau der Neunaugen erweist sich damit als außerordentlich stabil, was für einen Zeitraum von 360 Millionen Jahren im evolutionstheoretischen Deutungsrahmen „erstaunlich“ ist (Janvier 2006, 923) – es handelt sich um ein ausgeprägtes „lebendes Fossil“. *Hardistiella montana* aus dem Unterkarbon der USA war zuvor der geologisch früheste Angehörige der Neunaugen (Thenius 2000, 118). Damit wird das Auftauchen des evolutionstheoretisch ältesten Wirbeltiers, das mit seinen heutigen Verwandten praktisch identisch ist, geologisch noch einmal zurückverlegt.

Mit diesem unerwartet frühen fossilen Auftreten müssen nun die Vorstellungen über die Abstammungsverhältnisse deutlich revidiert werden. Denn der Ursprung der Neunaugen muss soweit vorverlegt werden, dass die bisherige Ableitung von den kieferlosen Ostracodermen aufgegeben werden muss. Ihr Ursprung bleibt somit im Dunkeln.

Janvier weist in seinem Kommentar darauf hin, dass die Verwandtschaftsbeziehungen zwischen den heutigen Schleimfischen, Neunaugen und kiefertragenden Wirbeltieren „heiß debattiert“ wird, weil gestaltliche und physiologische Merkmale mit Sequenzdaten von DNA und RNA im Konflikt stehen – einmal mehr, möchte man ergänzen. Die

anatomischen Merkmale sprechen für eine nähere Verwandtschaft der Neunaugen mit den kiefertragenden Wirbeltieren, während die molekularen Daten die Neunaugen und die Schleimfische als Schwestergruppen nahelegen. Das nun entdeckte Fossil kann hier nicht weiterhelfen, da es keine neuen Merkmalskombinationen aufweist.

Der praktisch identische Körperbau der Neunaugen seit dem Devon ist in der Tat erstaunlich (so Janiver; s.o.), denn während ihrer nachgewiesenen Lebenszeit hat sich im Sinn von Evolution mehrfach eine neue Fischwelt entwickelt und ist ganz überwiegend wieder verschwunden. Um nur die bedeutendsten, sehr vielgestaltigen Großgruppen zu nennen: Neben den (schon erwähnten) paläozoischen panzertragenden, kieferlosen Schalenhäutern (Ostracodermi) mehrere paläozoische Fischgruppen wie Stachelhaie (Acanthodii) oder gepanzerte Plattenhäuter (Placodermi). Sodann die jungpaläozoisch-mesozoischen Knorpelganoiden (Chondrostei) und mesozoischen Knochenganoiden (Holostei), die wiederum durch die in Trias und Jura auftauchenden „modernen" Knochenfische (Teleostei) – endgültig in der Kreide – abgelöst wurden. Auch Quastenflosser (Crossopterygii) und Lungenfische (Dipnoi), etwas später auch Haie (Selachii) oder Seedrachen (Chimären) treten mit Formen auf, die ihren heutigen Nachkommen sehr ähneln, aber bei keiner Fischgruppe ist dieses Phänomen so auffällig wie bei Neunaugen (und Schleimfischen). An ihnen ging der Selektionsdruck, der *in den gleichen Biotopen* die genannten, sehr verschiedenen Fischwelten hervorgebracht haben soll, am längsten vollständig vorbei – kein gutes Indiz für ein umfassendes Vermögen der Selektion. Wenn also die Selektion die Neunaugen nicht nennenswert verändert hat, war dann Selektion überhaupt die Triebfeder, die zur gleichen Zeit zu den verschiedenen Fischgruppen geführt hat?
[Gess RW, Coates MI & Rubidge BS (2006) A lamprey from the Devonian period of South Africa. Nature *443*, 981-984; Janvier P (2006) Modern look for ancient lamprey. Nature *443*, 921-924; Thenius E (2000) Lebende Fossilien. München] *RJ & MS*

Schnelle Anpassung bei Miesmuscheln

Wenn eine Art in neue Lebensräume verschleppt wird oder sie erobert, muss sie in der Regel neue Lebensbedingungen bewältigen. Oder die bisher bereits einheimischen Arten stehen beim Eindringen neuer Arten vor entsprechenden Herausforderungen. Und die Reaktion bzw. Anpassung muss *schnell* erfolgen, sonst ist das Überleben ernsthaft gefährdet. Dies ist nur möglich, wenn die Arten eine gewisse Flexibilität mitbringen. Ein schönes Beispiel dafür liefern Miesmuscheln in Neuengland (Nordosten der USA), die mit Krabben fertig werden mussten, die aus Asien eingeschleppt und seit 1988 an den Küsten von New Jersey beobachtet worden waren. Von dort aus breiteten sie sich nach Norden aus. Die Muscheln waren in der Lage, in kurzer Zeit ihre Schalen dicker werden zu lassen. Auf eine unbekannte Weise, vielleicht durch Wahrnehmung chemischer Substanzen, merken die Muscheln, wenn die Krabben in ihre Nähe kommen, und verdicken daraufhin im Laufe einiger Monate ihre Schalen um 5-10% (Freeman & Byers 2006; Stokstad 2006). Das genügt, um den Krabben das Öffnen der Schalen soweit zu erschweren, dass sie den Öffnungsversuch häufiger aufgeben, um sich leichterer Beute zuzuwenden. Dies war schon früher bei einer bereits um 1800 eingeschleppten Krabbenart festgestellt worden. Nun zeigte sich, dass die Muscheln binnen 15 Jahren „lernten", sich durch Verdickung ihrer Schalen des neuen Räubers zu erwehren.

Die Untersuchungen von Freeman & Byers geben den Biologen Hoffnung, dass das Einschleppen von Arten nicht notwendigerweise eine massive Gefährdung der einheimischen Lebewelt bedeuten muss; die einheimischen Arten sind offenbar nicht unbedingt hilflos. Solche Befunde passen gut zum Konzept polyvalenter Stammformen, einem Konzept, das im Rahmen der Schöpfungslehre vertreten wird. Demnach weisen die Stammformen der heutigen Grundtypen ein vielseitiges Erbgut auf, das ihnen Anpassungsfähigkeit und Flexibilität verleiht.
[Freeman AS & Byers JE (2006) Divergent Induced Responses to an Invasive Predator in Marine Mussel Populations. Science *313*, 831-833; Stokstad E (2006) Native mussel quickly evolves fear of invasive crab. Science *445*, 745.] *RJ*

Groß oder klein

Der Grundtyp der Hundeartigen bietet ein breites Spektrum an Variationen und eine besonders augenfällige Vielfalt auf phänotypischer (gestaltlicher) Ebene. Dass die zum Teil sehr großen morphologischen Unterschiede (Unterschiede in der äußeren Erscheinung) jedoch nicht auf ebenso ausgeprägte Unterschiede im Erbgut zurückzuführen sind, demonstriert eine neue Studie von Sutter (2006), wonach einem einzigen Gen, Igf-1 (insulin-like growth factor 1), eine entscheidende Bedeutung für die Körpergröße der Hunde zukommt. Zu diesem Ergebnis kamen Sutter und sein Team, nachdem sie 500 portugiesische Wasserhunde aufgrund von Röntgenaufnahmen und Skelettmessungen in die Kategorien „groß" und „klein" aufgeteilt und nach zwischen den beiden Gruppen bestehenden Erbgutunterschieden gesucht hatten (Check 2006).

Die Sequenzierung und Veröffentlichung des Hundegenoms waren bereits im Vorjahr von einem Team, dem auch Sutter angehört hatte, vorgenommen worden. Diese Datenbasis erleichterte die Suche der Forscher sehr, weil das Igf-1-Gen im

Abb. 1: Groß oder klein – nur ein kleiner genetischer Unterschied?

Gefolge der Sequenzierung bereits als eine der wenigen Gensequenzen erkannt worden war, die innerhalb einer Art stark variieren. Außerdem war bereits bekannt, dass dieses Gen bei Mäusen einen Einfluss auf die Körpergröße hat, da diese bei Ausfall dieses Gens sehr kleinwüchsig bleiben. Um zu testen, ob derselbe Zusammenhang auch bei den Hunden besteht, wurden 350 Individuen unterschiedlicher Rassen und sehr unterschiedlicher Größe im Hinblick auf dieses Gen miteinander verglichen. Dabei zeigte sich, dass nahezu alle der 18 kleinen Hunderassen, die für das Experiment herangezogen worden waren, genau dieselbe Igf-1-Gen-Variante besaßen, während diese Gen-Variante bei den 15 großen Rassen praktisch gar nicht vorkam.

Bei der Züchtung der kleinen Hunderassen kreuzte der Mensch die jeweils kleinen Individuen, welche die für die geringe Körpergröße verantwortliche Variante des Gens besaßen. Dadurch wurde diese Genvariante im Laufe dieses Selektionsprozesses in den kleinen Hunderassen fixiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass bereits geringe genotypische Veränderungen für phänotypische Vielfalt innerhalb eines Grundtyps sorgen können.

Interessant ist auch, dass angenommen wird, diese Gen-Variation sei bereits sehr früh in der Geschichte der Diversifikation der Hundeartigen evolviert und habe somit schon früh zur Selektion und somit zur Spezialisierung der Hunderassen bereitgestanden. Dies passt sehr gut zur Annahme polyvalenter Stammformen, welche schon zu Beginn des Aufspaltungsprozesses ein breites Variationsspektrum besaßen (vgl. Junker & Scherer 2006, 297ff.).

[Check E (2006) One gene between tiny dogs and giant ones? http://www.nature.com/news/2006/061009/full/061009-12.html; Junker R & Scherer S (2006) Evolution – ein kritisches Lehrbuch. Gießen, 6. Auflage] *CH*

Nervige Konvergenz

Spätestens seit Moby Dick weiß jeder, dass Wale gar nicht so dumm sind, wie man von diesen recht schwerfällig anmutenden Tieren vielleicht gedacht hätte. Mittlerweile konnte durch wissenschaftliche Studien nachgewiesen werden, dass diese Tiere extrem intelligent sind. So sagt z.B. Patrick R. Hof (2006) von der Mount Sinai School of Medicine in New York: „Sie kommunizieren durch umfangreiche Repertoires an Gesängen, erkennen ihre eigenen Gesänge und erfinden neue. Außerdem schließen sie sich zu Gruppen zusammen, um Jagdstrategien zu planen, bringen diese den jüngeren Tieren bei und haben soziale Netzwerke entwickelt, die denen von Menschen und Affen ähneln …“

Kürzlich haben Forscher herausgefunden, dass die Wale nicht nur ähnliche Verhaltensweisen wie Menschen und Affen aufweisen, sondern dass dies auch auf neurologischer Ebene begründet ist. So berichtete Michael Balter in *Science* von der Entdeckung spezieller Nervenzellen (sog. Spindelneuronen) in den Gehirnen mancher Wale. Stark vereinfacht kann man sagen, dass diese Nervenzellen in Hirnregionen, in denen Emotionen verarbeitet werden, eine rasche intuitive Beurteilung von Situationen gewährleisten.

So weit, so gut. Wirklich interessant wird das ganze erst, wenn man die Vorgeschichte kennt: Diese begann mit einem Artikel von Helen Phillips in *New Scientist* aus dem Jahr 2004, in dem „The cell that makes us human“ (Die Zelle, die uns menschlich macht) beschrieben wurde. Unter diesem Titel wurde außerdem behauptet: „Die Entdeckung eines Nerventyps, der nur bei Menschen und unseren nächsten Verwandten vorkommt, erregt Aufsehen.“ Es passte alles wunderbar – eine gemeinsame Nervenzelle, ein gemeinsamer Vorfahr. Diese Nervenzellen, entdeckt vom Hirnforscher John M. Allman vom California Institute of Technology in Pasadena und seinem Team, sind ziemlich groß und zigarettenförmig aufgebaut und vernetzen verschiedenste Hirnregionen miteinander. Menschen besitzen laut Allmans Analyse gut 80 000 solcher Spindelneuronen, Gorillas 16 000 und Schimpansen 1800.

Allman et al. (1999) hatten festgestellt, dass die Spindelzellen in keiner anderen Primatenart und

keiner anderen Säugergruppe entdeckt worden seien und dass ihr Volumen mit einem Maß der Enzephalisation höherer Primaten korreliere. Sie schreiben: „Diese Beobachtungen sind von besonderem Interesse für die Betrachtung der Evolution des Neocortex der Primaten, da sie mögliche adaptive Veränderungen und funktionelle Modifikationen während der letzten 15-20 Millionen Jahre im vorderen cingulären Cortex aufzeigen, einer Region, die eine größere Rolle in der Regulation vieler Aspekte der autonomen Funktion und bestimmter kognitive Vorgänge spielt."

Die neuen neurologischen Erkenntnisse über die Spindelzellen bei Walen bestätigen die oben kurz geschilderten Ergebnisse der Verhaltensforschung und haben darüber hinaus die Diskussion über die Rechtfertigung der Zufügung von Leid beim Walfang neu entfacht.

Darüber hinaus wirft die Entdeckung der Spindelzellen bei Walen jedoch noch eine ganz andere Frage auf – die Frage, wie das innerhalb des Evolutionsparadigmas zu verstehen sei. Erst kürzlich berichtete Junker (2006) von einer „bitteren Konvergenz": Teilen Affen und Menschen ein Merkmal, wird dies praktisch automatisch als Homologie, als gemeinsames Erbe eines gemeinsamen Vorfahrens interpretiert. In dem von Junker genannten Fall musste diese Interpretation jedoch aufgegeben werden: die Sensibilität für den Bitterstoff Phenylthiocarbamid (PTC) soll nun vielmehr zweimal unabhängig, bei Menschen und Affen, entstanden sein – eine im wahrsten Sinne des Wortes „bittere" Konvergenz.

Mit den neuen Ergebnissen bezüglich der Spindelzellen scheint sich nun eine „nervige" Konvergenz in die lange Liste der erstaunlichen Konvergenzen im Organismenreich einzureihen (vgl. den Beitrag über das konvergente Auftreten des Gleitflugs auf Seite 48 dieser Ausgabe).

Wohl oder übel müssen Vertreter der Evolutionslehre annehmen, Spindelneuronen hätten sich im Laufe der Evolution bei Walen und Menschen völlig unabhängig voneinander entwickelt, einmal vor etwa 30 Millionen Jahren und einmal vor 15 Millionen Jahren. Aufgrund der Verteilung des Besitzes von Spindelneuronen muss darüber hinaus für das Auftreten dieses Zelltyps bei den Walartigen entweder ein mehrfacher Verlust, ausgehend von einem gemeinsamen, Spindelzellen besitzenden Vorfahren angenommen werden, oder aber wiederum eine mehrfache Entstehung bei den zwei unterschiedlichen Unterordnungen der Walartigen. Außerdem ist es gut möglich, dass – evolutionstheoretisch gesehen – ein Teil dieses Prozesses ablief, als die Spindelzellen gerade auch das erste mal in der Vorfahrenlinie der Menschen auftauchten – was zusätzlich ein besonders seltener Fall einer parallelen Evolution darstellen würde.

Andererseits stützen diese Ergebnisse die Deutung des Auftretens von Konvergenzen als Design-Signal. Die freie Wiederverwendung gleicher bzw. sehr ähnlicher Strukturen bei sonst nicht näher verwandten Organismen passt gut in die Vorstellung eines uneingeschränkt agierenden Designers, der gleichsam ein „Baukastensystem" frei nutzen kann (vgl. ReMine 1993; ReMine 2006; Junker 2000).

[Allman JM et al. (1999) A neuronal morphologic type unique to humans and great apes. Proc. Natl. Acad. Sci. *96*, 5268-5273; Balter M (2006) Well-Wired Whales. Science NOW, http://sciencenow.sciencemag.org/cgi/content/full/2006/1127/1; Hof PR & van der Gucht E (2006) Structure of the cerebral cortex of the humpback whale, *Megaptera novaeangliae* (Cetacea, Mysticeti, Balaenopteridae). The Anatomical Record Part A: doi: 10.1002/ar. a. 20407; Junker R (2006) Bittere Konvergenz. Stud. Int. J. *13*, 99; Junker R (2000) Ähnlichkeiten, Rudimente, Atavismen. Holzgerlingen; Phillips H (2004) The cell that makes us human. New Scientist *182*, No. 2452, 32-35; ReMine WJ (1993) The Biotic Message.Evolution versus Message Theory. Saint Paul; ReMine WJ (2006) Evidence for message theory: a review of Life's Solution: Inevitable Humans in a Lonely Universe by Simon Conway Morris. Journal of Creation *20(2)*, 29-35.] *TRu*