

Erdgeschichte als Tatsache



Moderne
Frühmenschen



Laacher-See-
Vulkan



Neues vom
Birkenspanner

Überraschende Befunde zum Alter der Menschheit

Bevölkerungswachstum und Steinwerkzeuge des Frühmenschen

Michael Brandt:

Wie alt ist die Menschheit?

Demographie und Steinwerkzeuge
mit überraschenden Befunden

Holzgerlingen: Hänssler, 2006

Hardcover, Format 16,5 x 24

235 Seiten, 45 Abbildungen, 31 Tabellen,

ISBN 978-3-7751-5666-0

14,95 EUR [D]/15,45 EUR [A]/23,20 CHF

5., stark erweiterte Auflage

**Erhältlich im Buchhandel
oder unter
www.wort-und-wissen.de**



Michael Brandt präsentiert erstmals eine umfassende Gesamtschau der Daten zum Bevölkerungswachstum der Steinzeit und den gefundenen Werkzeugmengen. Die Daten lassen sich nur dann befriedigend erklären, wenn für die gesamte Steinzeit statt 2 Millionen Jahren eine Dauer von nur wenigen tausend Jahren veranschlagt wird. Der Autor plädiert für eine beträchtliche Korrektur der frühen Menschheitsgeschichte. Das Buch bietet sehr starke Argumente für eine kurze Menschheitsgeschichte; es gibt weltweit keine vergleichbare Übersichtsarbeit zu diesem Thema. Die Recherchen sind wissenschaftlich fundiert; das Buch ist aber auch für Laien gut lesbar. Der Leser erhält zudem viele interessante Einblicke in die Lebensumstände der Menschen der Steinzeit. Das Buch richtet sich an alle an der Vorgeschichte der Menschheit Interessierten, Fachleute wie Laien.

Erhältlich auch bei:

Studiengemeinschaft Wort & Wissen · Rosenbergweg 29 · 72270 Baiersbronn

Telefon (0 74 42) 8 10 06 · Fax (0 74 42) 8 10 08 · email sg@wort-und-wissen.de



Erdgeschichte für alle! Mit diesen Worten könnte die Initiative zunächst Einzelner beschrieben werden, „die Geschichte der Erde und des Lebens auf der Erde“ der breiten Öffentlichkeit zu vermitteln. Es begann mit populären Werken wie *Die Urwelt in ihren verschiedenen Bildungsperioden* (um 1850). Insbesondere ihre landschaftlichen Szenendarstellungen, z.B. die Karbon-Periode, ließen eine „unendlich ferne Vergangenheit“ lebendig und gegenwärtig werden. Schnell entwickelte sich dieses diskrete Format geohistorisch geordneter Szenen zu einem Genre für den Rest des 19. und gesamten 20. Jahrhunderts. Dabei ist es kein Zufall, dass dieses Format große Ähnlichkeit mit der Art biblischer Illustrationen aufweist. Als Zielgruppe mag zuerst der „aufgeklärte Bildungsbürger“ im Fokus gestanden

haben. Mit der Institutionalisierung der Geologie schließlich hat Erdgeschichte, insbesondere in ihrer visualisierten Form, Einzug in das staatliche Verwaltungs- und Bildungswesen genommen und das gesellschaftliche Leben durchdrungen.

Diese Szenen, so stellt der einflussreiche Historiker und Paläontologe Martin J. S. RUDWICK fest, „waren zu einer mächtigen Form visueller Rhetorik geworden, mit welcher die breite Öffentlichkeit von der Realität der unvorstellbaren langen Zeitskala der Geologen überzeugt werden konnte“ (RUDWICK MJS (1992) *Scenes of deep time*. Chicago London). Das mag man kaum glauben. – Doch noch mehr: Die Szenen-Folgen als erdgeschichtlicher Kanon würden die „Realität“ der geologischen Zeit als solche vermitteln; von einer Annahme also ist keine Rede. Das heißt: Ein Element der Erdgeschichte, die „unvorstellbare lange Zeitskala der Geologen“, wird als Realität deklariert und als Realität bzw. Tatsache weitergegeben – Erdgeschichte als Tatsache!

Was aber ist „Erdgeschichte“? Michael KOTULLA legt dar, dass sich „Erdgeschichte“ aus zahlreichen Elementen konstituiert und mit festen Attributen besetzt ist. „Erdgeschichte“ ist kein neutraler, ergebnisoffener Entwurf der Vergangenheit, „Erdgeschichte“ ist gemacht.

In einem weiteren geologischen Beitrag geht es um den Versuch, den späteiszeitlichen Ausbruch des Laacher-See-Vulkans (40 km südlich Bonn) zu rekonstruieren. Das ist Vulkanologen über mehrere Jahrzehnte hinweg weitestgehend gelungen. Demnach handelte es sich um eine komplexe, explosive Eruption, deren Hauptphase vermutlich nur wenige Tage andauerte. Das Volumen des ausgeworfenen Materials (Tephra) von etwa 20 km³ ist mehr als zehnmal so groß verglichen mit dem des Mt. St. Helens (Ausbruch von 1980). Die Versuche, den Ausbruchzeitpunkt mit verschiedenen Methoden zu bestimmen (in Kalenderjahren vor heute), liefern einen erkenntnisreichen Einblick in die Verfahrensweisen und deren Anwendung.

Drei Beiträge befassen mit dem Thema „Herkunft des Menschen“. Neue Befunde weisen darauf hin, dass der Mensch schon immer geistig „fit“ war und ein primitives Frühstadium nicht nachweisbar ist. Demnach war der Frühmensch ein hocheffektiver Jäger und verfügte über ein differenziertes Verhalten und eine komplexe Sprache, vergleichbar mit den Fähigkeiten des modernen Menschen, wie Michael BRANDT in seinem Beitrag „Frühmenschen mit modern-menschlichen Fähigkeiten“ zeigt. Auch der älteste unbestritten echte fossile Mensch, *Homo erectus*, konnte sprechen. Dies wurde zwar häufig bestritten, aber auch hier belegen neue Untersuchungen, dass *Homo erectus* ein echter Mensch mit geistigen Fähigkeiten ähnlich denen des modernen Menschen war. Umgekehrt zeigt sich immer wieder, dass nichtmenschliche Primaten merklich vom Menschen verschieden sind. Hier werden aus einzelnen Knochenmerkmalen manchmal Schlüsse auf ihre Funktion gezogen, die durch das Fundmaterial nicht gedeckt sind. Das kann durch Vergleiche mit heute lebenden Formen gezeigt werden; Michael BRANDT erläutert dies am Beispiel des Mondbeins des Menschen, einem der Handwurzelknochen des Menschen.

Ein Dauerbrenner in der Evolutionsforschung und auch in **STUDIUM INTEGRALE JOURNAL** ist die Frage nach dem Ursprung neuer Merkmale. Im populärwissenschaftlichen Bereich gilt dieses Thema eigentlich als erledigt, doch in den Fachjournals erscheinen laufend Beiträge, die sich diesem Thema widmen – es ist nämlich alles andere als geklärt. Große Popularität hat in diesem Zusammenhang mittlerweile das Langzeit-Evolutions-Experiment mit dem Darmbakterium *Escherichia coli* erlangt. Es wurde im Jahr 1988 begonnen und läuft nun schon seit ca. 65 000 Generationen parallel in zwölf Linien. Jüngst wurde darüber eine Kontroverse geführt, u.a. ob eine evolutive Neuheit nachgewiesen worden sei. Daniel VEDDER erklärt in seinem Beitrag über Citratnutzung bei *E. coli* die Details.

Als in groben Zügen geklärt gilt auch das vieldiskutierte Beispiel der Entstehung von Vogelfedern. Einige Zwischenstadien sollen einen evolutiven Weg hin zu dieser phantastischen Hightech-Struktur plausibel machen. Hier gilt es aber, genauer hinzuschauen, was eine Vogelfeder alles benötigt, um flugtauglich zu sein – es ist viel mehr als man zunächst denkt, wie Reinhard JUNKER in seinem Beitrag „Vogelfedern und Vogelflug“ ausführt.

Mit dieser bunten Sammlung kontrovers diskutierter Themen wünschen wir unseren geschätzten Leserinnen und Lesern eine aufschlussreiche Lektüre.

Ihre Redaktion **STUDIUM INTEGRALE JOURNAL**

■ IMPRESSUM

Herausgeber

Studiengemeinschaft Wort und Wissen e.V.,
Rosenbergweg 29, D-72270 Bayersbronn,
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, Bayersbronn

Korrespondenzadresse

Dr. Reinhard Junker, Rosenbergweg 29,
D-72270 Bayersbronn

Design

DESIGNBYTHOLEN
Regine Tholen AGD, Langgöns

Produktion

Dönges – Gutenberghaus Druck & Medien
GmbH & Co. KG, 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 Heraus-
geber. Das Abonnement kann zum Jahres-
ende 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

Was ist „Erdgeschichte“? Michael KOTULLA
zeigt in dieser Ausgabe, dass „Erdgeschich-
te“ kein neutraler, ergebnisoffener Entwurf
der Vergangenheit, sondern „gemacht“ ist.
Das Bild zeigt eindrucksvolle Felsformatio-
nen im Monument Valley im Grenzgebiet
der US-Bundesstaaten Utah und Arizona.
(Foto: ©Kushnirov Avraham – Fotolia.com)

ISSN 0948-6135

■ Inhalt



■ THEMEN

M. Brandt	Frühmenschen mit modern-menschlichen Fähigkeiten. Paradigmenwechsel in der Ursprungsforschung des Menschen	68
R. Junker	Vogelfedern und Vogelflug. Was Evolutionshypothesen erklären müssten	75
M. Kotulla	Erdgeschichte als Tatsache	83

■ REZENSIONEN

R. Junker	Design in der Natur. Von der Physikotheologie zu Intelligent Design (Beat Schweitzer)	128
-----------	---	-----



■ KURZBEITRÄGE

M. Brandt	Hand und Werkzeugverhalten früher Homininen	94
M. Brandt	Urmensch <i>Homo erectus</i> konnte doch sprechen	97
D. Vedder	Citratnutzung bei <i>E. coli</i> und die Wiederholbarkeit der Evolution	100
P. Imming	Seltsam, im interstellaren Nebel zu forschen	103
H.-B. Braun	Der sechste Sinn bei Hummeln	106
B. Schmidtgall	Chemisches missing link gefunden?	108
M. Kotulla	Die explosive Eruption des Laacher-See-Vulkans	111

■ STREIFLICHTER

Fossiler Hinweis auf komplexe Brutpflege bei Gliederfüßern im Silur	117
Neues von den karbonischen Bärlappbäumen	117
Wie viel Stillstand verträgt die Evolutionstheorie?	119
Hakenrüssler (Kinorhyncha) – ein weiterer Tierstamm der „kambrischen Explosion“	120
Birkenspanner, Melanismus und springende Gene	121
In 50 statt in 12 000 Jahren: Wiederholte Anpassungen bei Stichlingen	121
Amphibische Fische: Mindestens 33 Mal unabhängig entstanden	123
Fragile Systematik bei Motten	124
Radarblick in die grönländische Eisdecke	125
Chemie der Lebensentstehung: Tiefseeschlote werden erneut als synthetisch produktive Orte modelliert	126
Sortiermaschine für Nukleinsäuren – hilfreich zur Entstehung erster Erbinformation?	127

Frühmenschen mit modern-menschlichen Fähigkeiten

Paradigmenwechsel in der Ursprungsforschung des Menschen

In den Lehrbüchern zur Evolution des Menschen werden die Frühmenschen als primitiv mit deutlich geringer entwickelten Fähigkeiten gegenüber dem modernen *Homo sapiens* dargestellt. Neuere Forschungsergebnisse von Schöningen und Bilzingsleben bringen dieses Bild ins Wanken.

Michael Brandt

Einleitung

Lange Zeit war der Neandertaler als brutaler primitiver Mensch verschrien, der dem modernen *Homo sapiens* weit unterlegen gewesen sei. Dieses Bild musste aufgrund von Forschungsergebnissen in jüngerer Zeit korrigiert werden. Der Neandertaler wird heute in der Wissenschaft als voll entwickelter Mensch mit zwar archaischem Körperbau, aber modernem Verhalten angesehen (AUFFERMANN & ORSCHIEDT 2002).

Mit der Veröffentlichung der Ausgrabungsergebnisse des Jagdlagers von Schöningen in Niedersachsen (Abb.1) in einem Sonderband der renommierten Fachzeitschrift *Journal of*

Human Evolution im Dezember 2015 bahnt sich die Korrektur des Bildes eines noch älteren Frühmenschen, des *Homo heidelbergensis*, an (CONARD et al. 2015a). „Die einzigartigen Erhaltungsbedingungen und in hoher Qualität erhaltenen Grabungsfunde haben“ – so schreiben CONARD et al. (2015a, S.1) – „zu einem Paradigmenwechsel oder ‚Schöningen-Effekt‘ in unserer Sicht auf die menschliche Evolution im späten Altpaläolithikum geführt.“ Schöningen zeigt, dass der späte *Homo heidelbergensis* und die nachfolgenden archaischen Homininen über ein differenziertes Verhalten verfügten. Mit der Veröffentlichung in einer renommierten englischsprachigen Fachzeitschrift ging es den Autoren vorrangig darum, die Ausgrabungsergebnisse von Schöningen einer weltweiten wissenschaftlichen Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Vorher wurden schon zahlreiche valide Forschungsergebnisse von Schöningen in englischsprachigen (z. B. THIEME 1997), insbesondere aber vielen deutschsprachigen Publikationen (z. B. THIEME 2007a) dargelegt.

Es gibt allerdings mit Bilzingsleben (Abb.1) in Thüringen einen weiteren zeitlich ähnlichen altpaläolithischen Fundplatz in Deutschland, der aber schon eine längere Forschungsgeschichte als Schöningen aufweist. Die Erforscher dieses Fundplatzes sind zu recht ähnlichen Schlussfolgerungen wie die Ausgräber von Schöningen gelangt. Im Gegensatz zu Schöningen fand man in Bilzingsleben auch fossile Überreste der einst dort lebenden Frühmenschen. Die Analyse dieser Knochenüberreste ergab, dass der altpaläolithische Mensch von Bilzingsleben einer anderen

Kompakt

Die Frühmenschen werden in den Lehrbüchern zur Evolution des Menschen als primitiv mit deutlich geringer entwickelten Fähigkeiten gegenüber dem modernen *Homo sapiens* dargestellt. Neuere Forschungsergebnisse erfordern eine Korrektur dieses Bildes. Die archäologischen Entdeckungen des Wildpferdjagdlagers Schöningen mit extrem gut erhaltenen Speeren haben das Bild des *Homo heidelbergensis* geändert. Dieser Frühmensch war ein hocheffektiver Jäger und verfügte damit offensichtlich über ein differenziertes Verhalten und eine komplexe Sprache, vergleichbar mit den Fähigkeiten des modernen Menschen.

Die Ausgrabungsergebnisse des nur 100 km südlich vom Jagdlager Schöningen gelegenen, nahezu zeitgleichen Siedlungsplatzes Bilzingsleben machen eine weitere Korrektur bisheriger Vorstellungen über die Frühzeit der Menschheit erforderlich. Das bedeutsamste Fundstück von Bilzingsleben ist ein Elefantenknochenstück mit eingravierten regelmäßigen Strichfolgen. Das Knochenartefakt weist auf den Besitz einer differenzierten Sprache und auf die Befähigung zum abstrakten Denken hin. Bei dem Artefakt handelt es sich wahrscheinlich um einen Mondkalender. Im Gegensatz zu Schöningen wurden in Bilzingsleben menschliche Knochenüberreste gefunden. Sie weisen auf den Urmenschen *Homo erectus* als Schöpfer des Kalenders hin.

Die archäologischen Funde von Schöningen und Bilzingsleben legen nahe, dass die Frühmenschen voll entwickelte Menschen waren.

Frühmenschenform zuzuordnen ist, als für die Jäger von Schöningen vermutet wird. Bilzingsleben erfordert deshalb die Korrektur des Bildes einer weiteren, fossil noch älteren und im evolutionstheoretischen Kontext noch archaischeren Menschenform als *Homo heidelbergensis*.

Im Folgenden werden zunächst die Forschungsergebnisse des Jagdlagers von Schöningen dargestellt. Danach wird auf den Siedlungsplatz Bilzingsleben eingegangen.

Jagdlager Schöningen und neues Bild des Frühmenschen

In dem einleitenden Übersichtsartikel des erwähnten Sonderbandes des *Journal of Human Evolution* stellen CONARD et al. (2015b) fest, dass die Ausgrabungen von Schöningen bedeutende Auswirkungen auf die Debatte um die Evolution geistiger Fähigkeiten, von kooperativem Verhalten, gemeinsamer Nutzung von Ressourcen, Planungstiefe und Evolution der Sprache haben. Die Daten von Schöningen erlauben nach CONARD et al. (2015b) Antworten auf diese Fragen.

Weltweite Berühmtheit hat Schöningen durch neun geborgene Jagdspeere (Abb. 2) vom Pferdeschlachtplatz erlangt. Die Speere sind in jeder Hinsicht perfekte Waffen. Sie erlauben tiefgreifende Rückschlüsse auf die Hersteller. In Kasten 1 und 2 wird auf die Herstellung und die Flugeigenschaften der Speere ausführlich eingegangen.

Der altpaläolithische Frühmensch von Schöningen verfügte über modern-menschliche Fähigkeiten.



Abb. 1 Lokalitäten von Schöningen und Bilzingsleben.

Die Herstellung, der Transport, die Nutzung, die erneute Brauchbarmachung und schließlich die Entsorgung der Speere demonstrieren einen hohen Grad an Planungstiefe. Die geplanten Pferdejagden durch hochkoordinierte Gruppen mit ausgeklügelten Waffen weisen nach CONARD et al. (2015b) darauf hin, dass die Frühmenschen von Schöningen, die aufgrund des Alters der abgelagerten Schichten von 300 000–337 000 radiometrischen Jahren (Kasten 3) dem *Homo heidelbergensis* zugeordnet werden, über eine komplexe Sprache verfügten. Sie waren damit in der Lage, Informationen über die Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft und räumliche Verhältnisse mitzuteilen, die über die unmittelbare Umgebung hinausgehen. Diese Sprachfähigkeiten wurden für den *Homo heidelbergensis* von Forschern wie TOMASELLO et al. (2012) bisher bestritten.

CONARD et al. (2015b) gehen zwar von einer komplexen Sprache aus, bestreiten aber, dass das linguistische Repertoire des *Homo heidelbergensis*

Abb. 2 Altpaläolithischer Speer, Landkreis Helmstedt. Detail der sehr sorgfältig zugerichteten Spitze von Speer II (Gesamtlänge etwa 2,30 m). Die Speere aus Schöningen (400 000 radio-metrische Jahre v.h.) sind Hochleistungsspeere, für jede Weite geeignet. Jeder Speer ist optimal hergestellt worden. Die Spitze stammt aus dem härtesten Teil des Baumstammes an der Basis. Jeder Speer hat die gleichen Proportionen wie ein moderner Speer mit maximaler Dicke und größtem Gewicht (Schwerpunktzentrum) im vorderen Bereich. Der lange hintere Teil verjüngt sich zum Ende hin. Intensive Planung, ein anspruchsvoller Entwurf und Geduld beim Schnitzen des Holzes waren zur Herstellung der Speere erforderlich. Der europäische Frühmensch hatte offensichtlich Fähigkeiten, die man bisher nur dem modernen Menschen zutraute. (© Dr. Hartmut THIEME, Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege, Hannover, Foto: C. S. FUCHS)

1 Herstellung der Speere von Schöningen

In Schöningen wurden neun extrem gut erhaltene Speere geborgen. Sie zeigen keine Veränderungen durch den Fossilisationsprozess, obwohl einige Waffen gebrochen und Teile der Speere wahrscheinlich durch Wassereinwirkung leicht verschoben sind.

Die Speere sind sehr sorgfältig durchdacht und gearbeitet. Sie stellen eine hochentwickelte ausgeklügelte Jagdausrüstung dar.

Das bevorzugte Rohmaterial der Speere war das Holz der langsam wachsenden Fichte, die bei trockenem Klima oder anderen unvorteilhaften Bedingungen gedeiht. Das Holz des Stammes der kleinen Bäume ist für die Herstellung von starken harten Speeren ideal geeignet. Die Spitze der Speere stammt nicht aus dem Zentrum des Stammes, weil das Holz außerhalb des Zentrums in der Nähe der Wachstumsringe härter als im weichen Zentrum ist. Ein Speer wurde mehrmals benutzt. Darauf weist das

Nachschärfen der Spitze des Speeres hin. Die Merkmale der Speere mit schmalen Fichtenstämmen als Rohmaterial, Entfernung der Zweige und Glättung der Oberfläche, Platzierung der Spitze weg vom weichen Zentrum des Stammes und die perfekten Flugeigenschaften (Kasten 2) sind das Ergebnis von Experimentieren, Optimierung und eines Informationsaustausches innerhalb und zwischen den Generationen der Frühmenschen. Der Aufwand von mehreren Stunden Herstellungszeit für die Speere und die Nutzung von schmalen langsam wachsenden Fichtenstämmen als Rohmaterial, die in der nahen Umgebung des Jagdlagers nicht verfügbar waren, sprechen gegen die Vorstellung, dass die Speere unmittelbar im Anschluss an die Entscheidung zu jagen hergestellt wurden. Die Speere wurden lange vorausschauend für einen späteren Einsatz geplant und angefertigt (CONARD et al. 2015b, SCHOCH et al. 2015).

2 Flugeigenschaften der Speere von Schöningen

Die Speere von Schöningen wurden nachgebaut und von Speerwerfern unter Leitung von Hermann RIEDER untersucht. RIEDER war früher selber aktiver Speerwerfer und später Bundestrainer für Speerwerfer des Deutschen Leichtathletik-Verbandes, u. a. auch Trainer von Klaus WOLFERMANN, einem ehemaligen Weltrekordler und Olympiasieger von 1972 in München.¹

Der Mittelwert der vollständig erhaltenen Speere von Schöningen betrug in der Länge etwa 2,20 m. Die Speere wogen etwa 500 g. Die Speere entsprechen damit fast exakt dem heutigen Damenspeer, der aber 100 g schwerer ist. Studentinnen der Sportwissenschaft der Universität Heidelberg meinten: „Mit diesen Speeren hätten wir in der Prüfung lieber geworfen“ (RIEDER 2007, S. 160). Viele ehemalige und noch aktive deutsche Größen im Speerwerfen begutachteten die nachgebauten Speere und waren gleichermaßen fasziniert. In diesem Zusammenhang hörte RIEDER (2007, S. 160) öfter den Ausspruch „Das gibt's ja gar nicht“.

Bei den durchgeführten Wurfversuchen unter Leitung von RIEDER (2007) standen drei Fragen im Mittelpunkt:

- Wie groß ist die Eindringtiefe der geworfenen Speere?
- Wie weit kann man mit diesen Speeren werfen?
- Wie gut kann man auf welche Entfernungen mit den Speeren treffen?

Die Eindringtiefe bei Abwurf aus 5 m Entfernung in einen Gelatineblock beträgt zwischen 22,5 und 25,5 cm. Mit dieser Eindringtiefe hätte man Wild sehr gefährlich verletzt (SCHOCH et al. 2015). Der Weitwurf hat bei der Jagd damals sicherlich nicht die wichtigste Rolle gespielt, ist heute aber wahrscheinlich der interessanteste Aspekt. Der 70-m-Werfer M. RAU sollte mit 80 % Krafteinsatz und nur fünf Anlaufschritten werfen. RAU erzielte 62 m. RAU wurde gefragt: „Wenn du trainierst und mit voller Kraft wirfst, was traust du dir für eine Weite zu?“ Die Antwort war spontan 100 Meter. Auch der 80-m-Werfer A. LINDEN traute sich bei Training eine Wurfweite von 100 Metern zu (RIEDER 2007, S. 161). Das bedeutet, dass man die Holzspeere heute nicht besser machen kann.

Wie gut kann man auf welche Entfernungen treffen? Heutige Speerwerfer treffen bis 15 m sehr gut, von 15-25 m gut und darüber hinaus schnell abfallend. Allerdings sind die heutigen Speerwerfer im Zielwerfen nicht geübt. Da Zielwerfen aber gut trainierbar ist und im Altpaläolithikum bei der Jagd überlebenswichtig war, dürften unsere Altvordenen wohl bessere Zielwerfer als die heutigen Spitzenwerfer gewesen sein.

Diese Ergebnisse führten dazu, dass im Verlauf der Wurfversuche die Hochachtung für die altsteinzeitlichen Jäger von Schöningen bei Hermann RIEDER immer größer wurde.

dem des modernen Menschen vollständig glich. Die Autoren meinen unzweideutige Hinweise auf eine voll moderne menschliche Sprache erst mit der Evolution des modernen Menschen mit gut dokumentierten Hinterlassenschaften symbolischer Artefakte im späten Pleistozän zu haben. Diese voll entwickelte Kommunikationsfähigkeit erklärt nach CONARD et al. (2015b) die Ausbreitung des modernen Menschen vor 50 000 radiometrischen Jahren auf der Erde, während vor dieser Zeit vielfältige hominine Taxa auf einem breiten sprachlichen und auch verhaltensmäßigen Spielfeld konkurrierten. Bei dieser Vermutung setzen CONARD et al. (2015b) aber bereits voraus, dass sich die Sprache des heute lebenden Menschen im Laufe der menschlichen Evolution graduell entwickelt habe. Gegen die von CONARD et al. (2015b) postulierte eingeschränkte Sprachfähigkeit des *Homo heidelbergensis* gibt es begründete Einwände, wie nachfolgend gezeigt wird.

Es stellt sich nämlich die Frage, warum der anatomisch moderne Mensch sich erst vor 50 000 radiometrischen Jahren um den Globus ausgebreitet hat, denn er ist fossil bereits seit 200 000 radiometrischen Jahren nachweisbar (McDOUGALL et al. 2005). Die These von CONARD et al. (2015b) impliziert, dass der moderne *Homo sapiens* während der längsten Zeit seiner Existenz nicht über ein modern-menschliches Verhalten mit einer voll entwickelten Sprache verfügt hat.

In der Altsteinzeit hat sich der moderne Mensch mit verschiedenen archaischen Menschenformen gepaart (kurze Übersicht siehe BRANDT 2015). Ist es plausibel, dass sich Menschen mit voll entwickelter Sprache und Menschen mit nicht voll entwickelter Sprachfähigkeit häufig gepaart haben?

Die Hauptkritik entzündet sich jedoch an der Behauptung von CONARD et al. (2015b), dass symbolische Artefakte nur im Zusammenhang mit dem anatomisch modernen Menschen nachweisbar seien und ihr fehlender Nachweis zwingend auf eine nicht voll entwickelte Sprachfähigkeit hinweise.

CONARD (2008) stellt selbst fest, dass es zahlreiche rezente Jäger-Sammler-Gruppen mit einer modernen Kultur gibt, die aber keine archäologisch sichtbaren Artefakte hinterlassen, die auf dieses moderne Verhalten hinweisen. So verfügen Eingeborene wie die Pitjendadjara aus Australien nur über eine sehr einfache materielle Kultur. Zu ihren Gerätschaften gehören Steinwerkzeuge, Speere, Grabstöcke, Holzschüsseln, Mahlsteine, einfache Spulen für Pelzfäden und verschiedene persönliche Schmuckgegenstände (siehe BRANDT 2000). Perforierte Perlen, die annehmbar als Schmuckgegenstände verwendet wurden, sind schon aus dem Acheuléen (Altpaläolithikum) bekannt (BEDNARIK 2015). Die Pitjendadjara

besitzen aber wie alle Völker dieser Erde mit nur sehr einfacher materieller Kultur eine voll entwickelte Sprache. Die Sprachforschung hat allgemein gezeigt, dass kein Zusammenhang zwischen dem Kulturniveau einer Gemeinschaft und der Struktur ihrer Sprache nachweisbar ist. Eine Stammesgemeinschaft kann in sehr einfachen Verhältnissen leben und dennoch eine sehr komplexe Sprache besitzen (LIEBI 2003).

Die Hypothese der etwas eingeschränkten Sprachfähigkeit des *Homo heidelbergensis* ist nur vor dem Hintergrund der Annahme von CONARD et al. (2015b) zu verstehen, dass sich im Laufe einer menschlichen Evolution die syntaktische Kommunikation und Sprache, wie sie von heute lebenden Menschen bekannt ist, entwickelt habe.

Die archäologischen Hinterlassenschaften lassen vermuten, dass *Homo heidelbergensis* über eine voll entwickelte menschliche Sprache verfügte.

Vor CONARD et al. (2015a) hat sich der langjährige Leiter der Ausgrabungen von Schöningen, Hartmut THIEME (2007b, S. 226), unter der Überschrift „Der große Wurf von Schöningen: Das neue Bild zur Kultur des frühen Menschen“ zu den Holz Waffen von Schöningen klar geäußert: „Der durch große Fertigkeiten in der Holzbearbeitung gekennzeichnete Entwicklungsstand dieser technisch ausgefeilten, ballistisch ausbalancierten Fernwaffen lässt nur den Schluss einer langen Tradition in der Verwendung derartiger Geräte zu. [...] Die Speere liefern [...] ein breites Spektrum völlig neuer Erkenntnisse vom bereits im Altpaläolithikum erreichten hohen Niveau der Großwildjagd. Denn hier sind in einem gemeinschaftlich organisierten und koordinierten Jagdunternehmen Fernwaffen gezielt ausschließlich auf Pferde, auf schnelles flüchtiges Herdenwild, eingesetzt worden.“ Weiter schreibt THIEME (S. 227): „Aus all dem lässt sich nur schlussfolgern, dass, entgegen einem bisher weit verbreiteten Geschichtsbild, bereits der *Homo erectus*² über die erst dem modernen Denken zugeschriebenen intellektuellen Fähigkeiten vorausschauenden, planenden Denkens und Handelns verfügte. Denn sämtliche in Schöningen beobachteten (und rekonstruierten) komplexen Handlungsabläufe und Arbeitsvorgänge sind ohne begriffliches Denken nicht möglich; es ist Voraussetzung und Bedingung einer für diese frühe Zeit schon vorhandene, weit entwickelte, variantenreiche sprachliche Kommunikation. Allein nur die verschieden gestalteten, exzellent erhaltenen Speere wären dafür schon ausreichender Beweis: Ein abstraktes (geistiges) Bild – verknüpft mit all dem erforderlichen Wissen um die

3 Zeitliche Einordnung der Fundschichten von Schöningen und Bilzingsleben

Der archäologisch wichtigste Horizont 13/II-4 von Schöningen, aus dem die Speere geborgen wurden, und der archäologische Horizont Bilzingsleben II werden dem Reinsdorf-Interglazial und damit einem ähnlichen geologischen Alter zugeordnet (THIEME 2007, RICHTER & KRBETSCHKE 2015). Deutlichere Diskrepanzen gibt es jedoch in den absoluten Altersangaben.

THIEME (2007) vermutet ein Alter des Speer-Horizontes von Schöningen von etwa 400 000 radiometrischen Jahren (MIS 113 radiometrisches Alter 374 000–424 000 Jahre, siehe RICHTER & KRBETSCHKE 2015). RICHTER & KRBETSCHKE (2015) datieren Schöningen 13/II-4 dagegen auf 300 000–337 000 Jahre (MIS 9), wobei in CONARD et al. (2015) allgemein der untere Wert von 300 000 radiometrischen

Jahren für die Speere angegeben wird. Bilzingsleben II mit dem bekannten Fundhorizont des *Homo erectus* ist nach MANIA (2007) einerseits nur einige tausend radiometrische Jahre älter als der Speer-Horizont Schöningen 13/II-4. Andererseits wird Bilzingsleben II mit den kulturellen Hinterlassenschaften und den menschlichen Fossilresten von MANIA (1998, 2004) und MANIA et al. (2000) mit einem durchschnittlichen Alter von 370 000 radiometrischen Jahren angegeben, was etwas geringer ist als das von THIEME (2007) angegebene Alter des Speerhorizontes von Schöningen. Der etwas ältere Fundhorizont 12/1 in Schöningen, aus dem ebenfalls Kulturreste bekannt sind, ist vermutlich zeitgleich mit der *Homo erectus*-Fundschrift aus Bilzingsleben anzusetzen (MANIA 2007).

künftig erwarteten Wurf- und Flugeigenschaften sowie Eindringtiefen – bestimmt das dadurch gesteuerte zielstrebige Handeln zum Auffinden und zur Auswahl des geeignetsten Rohmaterials über die diversen Bearbeitungsschritte mit entsprechenden verschiedenen Geräten bis hin zum fertigen Endprodukt: einem Wurfspeer als Jagdwaffe ebenso wie als Waffe zum Schutz des eigenen Lebens und des Lebens der Gruppenmitglieder vor Raubtieren.“

In den Schichten von Schöningen sind leider keine knöchernen Überreste der einst jagenden Menschen gefunden worden. In diesem Punkt ist die Fundsituation von Schöningen ungünstiger gegenüber der eines nicht weit entfernten nahezu zeitgleichen Siedlungshorizontes einer weiteren Frühmenschengruppe in Thüringen.

Siedlungsplatz des *Homo erectus* in Bilzingsleben

Die altpaläolithische Siedlung⁴ Bilzingsleben liegt nur 100 km Luftlinie südlich von Schöningen entfernt (Abb. 1). Der Fundplatz wurde 1969 von Dietrich MANIA entdeckt und unter seiner Leitung viele Jahre erforscht. Das Alter des Fundortes wird mit 370 000 radiometrischen Jahren angegeben (Kasten 3). Der Frühmensch von Bilzingsleben gliederte den Platz in verschiedene Arbeits- und Wohnbereiche. Vielleicht besaß er sogar eine Kultstätte. Er lebte hauptsächlich von der Großwildjagd (Übersichtsarbeiten MANIA 1998, 2004). Aufgrund der unbestritten zeitlichen und räumlichen Nähe könnten sich nach MANIA (2007) die beiden Frühmenschenpopulationen von Schöningen im Nordharzvorland

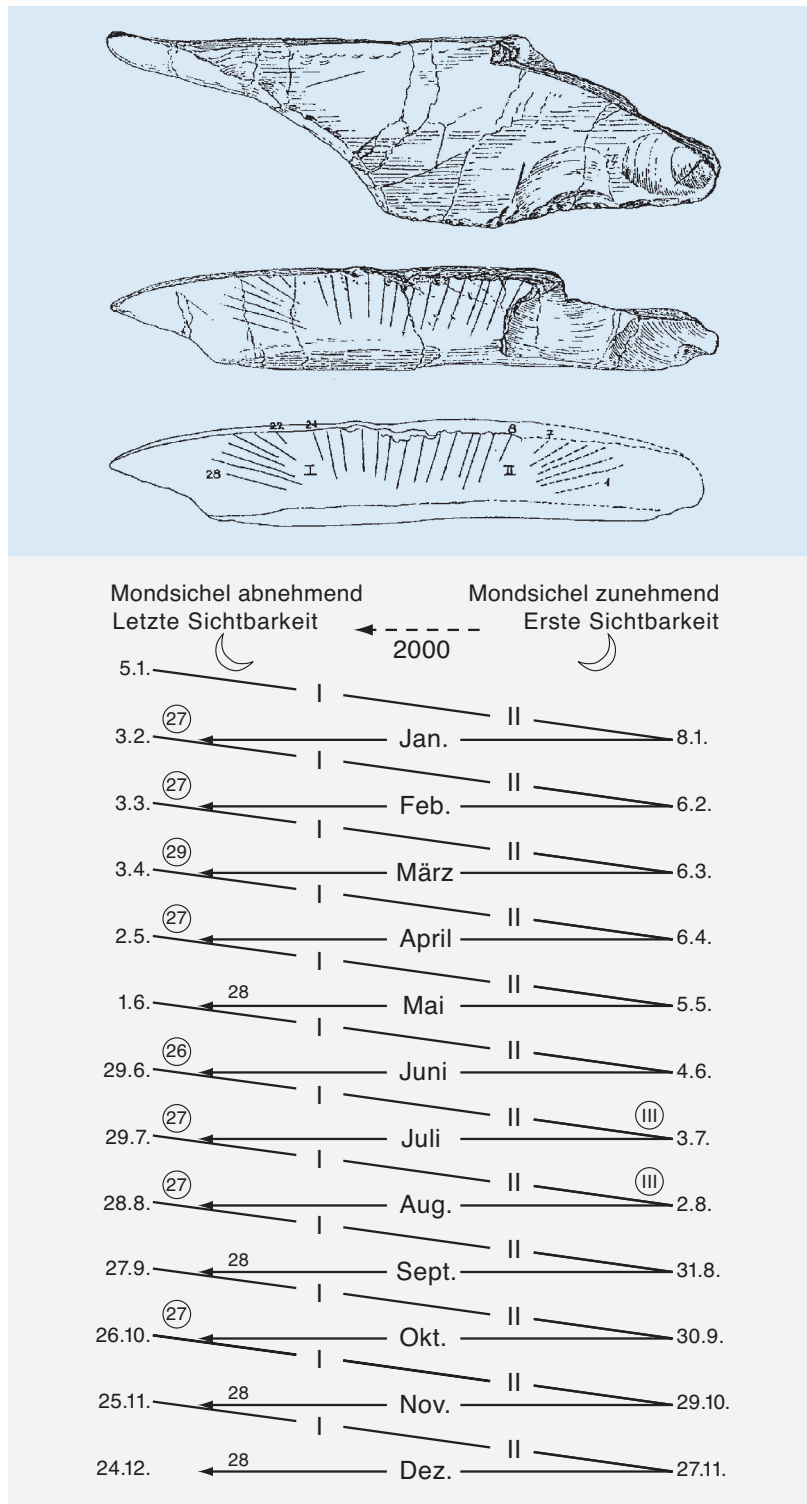


Abb. 3 Altpaläolithisches Knochengert mit eingritzter Strichfolge (400 000 radiometrische Jahre v.h.) aus Bilzingsleben, Thüringen (aus SCHÖSSLER 2003). Der Fund besteht aus einem Stück zerschlagenen Schienbeins eines Waldelefanten und ist mit einem Fächer aus Strichbündeln (gestrichelte Linien sind Ergänzungen) versehen. Nach SCHÖSSLER handelt es sich um einen Mondkalender. Der Hersteller des Kalenders war ein (fortgeschrittener) *Homo erectus*.

und Bilzingsleben in Thüringen gekannt haben.

In Bilzingsleben wurden neben zahlreichen Stein- und Knochenwerkzeugen Holzartefakte geborgen, unter denen sich wahrscheinlich auch Speere befinden (MANIA & MANIA 1998). Diese Stücke sind leider schlecht erhalten und nach SCHOCH et al. (2015) einer näheren Inspektion nicht zugänglich.

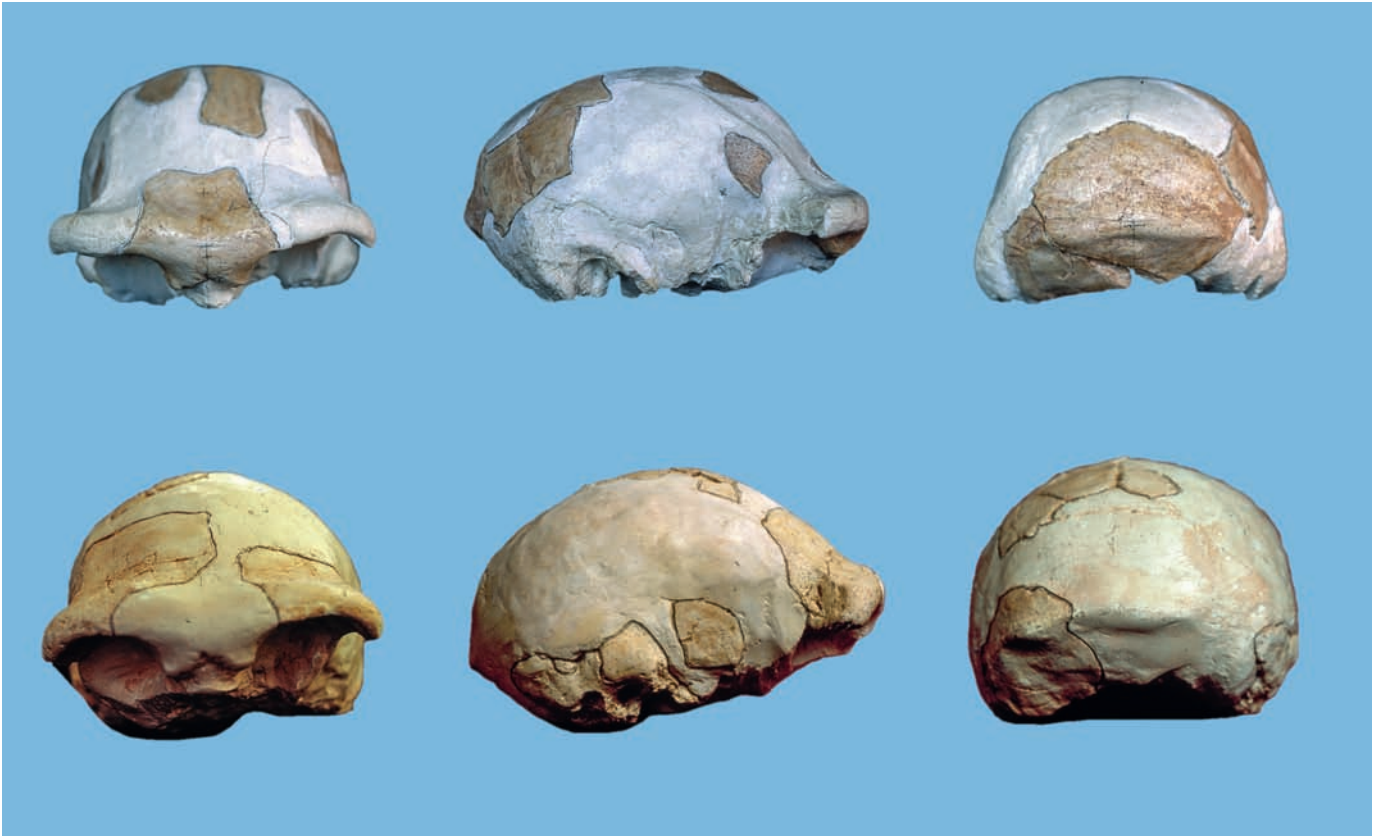
Während die bemerkenswertesten Artefakte von Schöningen die sehr gut erhaltenen Holzspeere sind, erlaubt ein Elefantenknochenstück mit eingraviertem Strichmuster die tiefgreifendsten Rückschlüsse auf die Fähigkeiten des Frühmenschen von Bilzingsleben.

THIEME (2007b, 227–228) zitiert Dietrich MANIA zu diesem Artefakt: „Im Fundhorizont von Bilzingsleben traten Knochenartefakte mit eingravierten Strichmustern auf. Auf einem Stück, einem 40 cm langen Knochengert [...], beginnt ein solches mit einem Strichbündel aus sieben Linien (links), geht über in eine mittlere Reihe aus aufgefächerten 14 Linien (Mitte) und endete wahrscheinlich – hier ist das Gert ausgesplittert (rechts) – in einem symmetrisch zum dargestellten Strichbündel gleichartigen divergierenden Bündel aus sieben Strichen. Hier liegt eine der ältesten optisch wirksamen Darstellungen eines Gedankens vor. Das geschieht quasi symbolisch. Sie verrät uns Befähigung zum abstrakten Denken und zur Sprache in dieser frühen Zeit. Die Wurfspere von Schöningen bestätigen dieses Ergebnis von Bilzingsleben auf die beste Weise.“ Dieser Knochen mit eingravierten Strichmustern wird von SCHÖSSLER (2003) als Mondkalender interpretiert (Abb. 3). Wer war der Schöpfer dieses Kalenders?

Im Bilzingslebener Fundhorizont wurden Reste von Frühmenschen gefunden. Es sind 29 Schädelreste, ein rechter Unterkiefer und neun isolierte Zähne. Aus den Schädelresten konnte

Der Urmensch *Homo erectus* von Bilzingsleben besaß wahrscheinlich eine komplexe Sprache und war zu abstraktem Denken fähig.

Emanuel VLČEK drei Schädelindividuen rekonstruieren. Zu einem vierten Individuum gehört der Unterkiefer. Die Schädel sind lang und flach gestreckt, haben eine mächtige Überaugenwulst, die über der Nasenwurzel nicht unterbrochen ist, ein abgewinkeltes Hinterhaupt, auf dem eine mächtige Hinterhauptswulst sitzt, sowie eine starke seitliche Einschnürung hinter der Orbitapartie (Abb. 4). Das alles sind wesentliche Merkmale des *Homo erectus*. Vergleichende Untersuchungen von VLČEK haben die größte morphologische Ähnlichkeit bis Übereinstimmung der Bilzingsleben-Individuen 1 und 2 mit *Homo-erectus*-Funden aus Afrika und Asien ergeben: Olduvai 9 aus der Olduvai-Schlucht in Tansania (besonders Individuum 1), Sinanthropus 3 aus Choukoutien in China und Pithecanthropus 7 von Sangiran auf Java.⁵ Dagegen unterscheiden sich die beiden Individuen von Bilzingsleben deutlich von den archaischen *Homo-sapiens*-Formen (Steinheim, Swanscombe, Biache, Ehringsdorf u.a.). Der rechte Unterkiefer E7 aus Bilzingsleben zeigt eine große Ähnlichkeit mit zwei Unterkiefern von *Homo erectus* aus Choukoutien von einer Frau (Sinanthropus HI) und einem Kind (Sinanthropus BIV) (MANIA et al. 2000, VLČEK et al. 2002).



CONARD et al. (2015a) gehen im Rahmen ihrer Vermutung, dass die Jäger von Schöningen aufgrund des radiometrischen Alters des Jagdlagers von etwa 300 000 Jahren der späte *Homo heidelbergensis* oder frühe Neandertaler waren, leider nicht auf die Morphologie und taxonomische Zuordnung der fossilen Menschenreste von Bilzingsleben ein.

Zusammenfassung

Die archäologischen Entdeckungen des Wildpferdjagdlagers Schöningen mit extrem gut erhaltenen Speeren haben das Bild vom *Homo heidelbergensis* in der Archäologie geändert. Dieser Frühmensch war ein hocheffektiver Jäger und verfügte damit offensichtlich über ein differenziertes Verhalten und eine komplexe Sprache, vergleichbar mit den Fähigkeiten des modernen Menschen. Damit wurde mit einem „Weltbild“ aufgeräumt, das in den letzten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts besonders im anglo-amerikanischen Fachschrifttum (z.B. BINFORD 1981) über den Frühmenschen verbreitet worden ist. In diesem „Weltbild“ wurden der Mensch des Altpaläolithikums, aber auch noch der nachfolgende Neandertaler, primär als Aasesser, allenfalls gerade noch als opportunistischer, d. h. nur kurzfristig oder lokal begrenzter, Jäger auf ungefährliches Kleinwild beschrieben. Erst der als eigentlicher Kulturträger postulierte anatomisch moderne Mensch war nach dieser Auffassung vor etwa 40 000 radiometrischen Jahren zur systemati-

schen Großwildjagd fähig (THIEME 2007a). Mit der ungerechtfertigten Vermutung, dass der *Homo heidelbergensis* über eine noch nicht ganz vollentwickelte Sprache verfügte, konnten sich auch CONARD et al. (2015b) von dieser Auffassung noch nicht vollständig lösen.

Die Speere von Schöningen zeigen eindrucksvoll, dass ein gut dokumentierter archäologischer Fund ausreichen kann, um grundlegende Vorstellungen über die Evolution des Menschen mit einem Schlag zu widerlegen.

Die Ausgrabungsergebnisse des nur 100 km südlich vom Jagdlager Schöningen gelegenen, nahezu zeitgleichen Siedlungsplatzes Bilzingsleben machen eine weitere Korrektur der Vorstellungen über die Frühzeit der Menschheit erforderlich. Das bedeutsamste Fundstück von Bilzingsleben ist ein Elefantenknochenstück mit eingravierten regelmäßigen Strichfolgen. Das Knochenartefakt weist auf den Besitz einer differenzierten Sprache und auf die Befähigung zum abstrakten Denken in dieser frühen Zeit hin. Bei dem Artefakt handelt es sich wahrscheinlich um einen Mondkalender. Menschliche Knochenüberreste von Bilzingsleben weisen auf den Urmenschen *Homo erectus* als Schöpfer des Kalenders hin.

Die archäologischen Funde von Schöningen und Bilzingsleben stehen im Einklang mit der

Abb. 4 Rekonstruktion der Schädel Bilzingsleben Individuum I (oben) und Individuum II (unten) in der Ansicht von (v.l.n.r.) vorn, rechts seitlich und hinten (aus VLČEK et al. 2002). Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Prof. Dr. Dietrich MANIA.

Die archäologischen Funde von Schöningen und Bilzingsleben stehen im Einklang mit der Vorstellung, dass schon die frühesten echten Menschen voll entwickelte Menschen waren.

Vorstellung, dass schon die frühesten echten Menschen voll entwickelte Menschen waren.

Anmerkungen

- ¹ Der Autor dieses Artikels war in seiner Jugend selbst Speerwerfer und hat mit Hermann RIEDER persönlich über die Speere von Schöningen gesprochen.
- ² Hartmut THIEME geht in Analogie zu Bilzingsleben auch in Schöningen von *Homo erectus* als Träger der altpaläolithischen Kultur aus. Menschliche Knochenüberreste wurden in Schöningen aber nicht gefunden.
- ³ Sauerstoff-Isotopenstufe (engl. Marine Isotope Stage, Abkürzung MIS), die anhand des Verhältnisses der Isotope ¹⁶O und ¹⁸O des Sauerstoffs bestimmt wird. Es handelt sich um eine Gliederung der abstrahierten Sauerstoffisotopenchronologie (quartärer mariner Sedimente) in Stufen; die Oszillationen werden als relativ wärmere und relativ kältere Perioden interpretiert. Die Sauerstoff-Isotopenstufen (MIS) werden radiometrisch/zyklostratigraphisch kalibriert und sind selbst keine Datierungsmethode.
- ⁴ Nach Dietrich MANIA wurden unter Leitung von Clemens PASDA (2005) weitere Grabungen in Bilzingsleben im Randbereich der von MANIA untersuchten Flächen durchgeführt (siehe auch PASDA 2010). Die ausgegrabene fundführende Schicht stellt nach PASDA (2005) kein primäres Begehungsniveau altsteinzeitlicher Menschen dar, sondern ist eine Schlammstromablagerung. Die darin geborgenen Objekte seien somit von anderer Stelle umgelagert worden (siehe aber Entgegnung MANIA 2005).
- ⁵ Der Frühmensch von Bilzingsleben wird auch als „entwickelter“ *Homo erectus* bezeichnet (MANIA et al. 2000).

Literatur

AUFFERMANN B & ORSCHIEDT J (2002) Die Neandertaler. Stuttgart.

BEDNARIK R (2015) Middle Pleistocene beads and symbolism. *Anthropos* 100, 537–552.

BRANDT M (2000) Gehirn – Sprache – Artefakte. Holzgerlingen.

BRANDT M (2015) Wie alt ist die Menschheit? Demographie und Steinwerkzeuge mit überraschenden Befunden. 5., erw. Aufl., Holzgerlingen.

BINFORD LR (1981) *Bones: Ancient man and modern myths*. New York.

CONARD NJ (2008) A critical view of the evidence for a southern African origin of behavioural modernity. *South African Archaeological Society Goodwin Series* 10, 175–179.

CONARD NJ, MILLER CE, JORDI SERANGELI J & VAN KOLFSCHOTEN T (2015a) Special Issue: Excavations at Schöningen: New Insights into Middle Pleistocene Lifeways in Northern Europe. *J. Hum. Evol.* 89, 1–308.

CONARD NJ, SERANGELI J, BÖHNER U, STARKOVICH B, MILLER CE, URABN B & VAN KOLFSCHOTEN T (2015b) Excavation at Schöningen and paradigm shifts in human evolution. *J. Hum. Evol.* 89, 1–17.

LIEBI R (2003) Herkunft und Entwicklung der Sprachen. Holzgerlingen.

MANIA D (1998) Die ersten Menschen in Europa. Stuttgart.

MANIA M & MANIA U (1998) Geräte aus Holz von der altpaläolithischen Fundstelle bei Bilzingsleben. *Præhistoria Thuringica* 2, 32–72.

MANIA D, MANIA U & VLČEK E (2000). Ein neuer Fossilfund des frühen Menschen von Bilzingsleben (Thüringen). *Præhistoria Thuringica* 5, 17–31.

MANIA D (2004) Die Urmenschen von Thüringen. *Spektrum der Wissenschaft*, Oktober, 38–47.

MANIA D (2005) „Trübestrome und rollende Köpfe“: Einige Gedanken über „Neue Erkenntnisse zu Bilzingsleben“. <http://home.arcor.de/Cernunnus/aktuelles01.html> (Zugriff am 3. 4. 2016)

MANIA D (2007) Wer waren die Jäger von Schöningen? In: THIEME H (Hg) *Die Schöninger Speere*. Stuttgart, S. 222–224.

MCDUGALL I, BROWN FH & FLEAGLE JG (2005) Stratigraphic placement and age of modern humans from Kibish, Ethiopia. *Nature* 433, 733–736.

PASDA C (2005) Neue Erkenntnisse zu Bilzingsleben. <https://idw-online.de/de/news121536> (Zugriff am 3. 4. 2016)

PASDA C (2010) Exkursionspunkt: Steinrinne bei Bilzingsleben (Ldkr. Sömmerda, Freistaat Thüringen). Hugo OBERMAIER-Gesellschaft für Erforschung des Eiszeitalters und der Steinzeit e.V. 52. Jahrestagung in Leipzig, 6.–10. April 2010, 65–70.

RICHTER D & KRBETSCHKE M (2015) The age of the Lower Paleolithic occupation at Schöningen. *J. Hum. Evol.* 89, 46–56.

RIEDER H (2007) Zur Qualität der Schöninger Speere als Jagdwaffen – aus der Sicht der Sportwissenschaft. In: Thieme H (Hg) *Die Schöninger Speere: Mensch und Jagd vor 400 000 Jahren*. Stuttgart, S. 159–162.

SCHOCH WH, BIGGA G, BÖHNER U, RICHTER P & TERBERGER Z (2015) New insight on the wooden weapons from the Paleolithic site of Schöningen. *J. Hum. Evol.* 89, 214–225.

SCHÖSSLER K (2003) Versuch zur Deutung des Strichmusters auf dem Knochenartefakt Bilzingsleben Nr. 208, 33 – Mondkalender? *Præhistoria Thuringica* 9, 29–34.

THIEME E (1997) Lower palaeolithic hunting spears from Germany. *Nature* 385, 807–810.

THIEME H (Hg) (2007a) *Die Schöninger Speere: Mensch und Jagd vor 400 000 Jahren*. Stuttgart.

THIEME H (2007b) Der große Wurf von Schöningen: Das neue Bild zur Kultur des frühen Menschen. In: THIEME H (Hg) *Die Schöninger Speere: Mensch und Jagd vor 400 000 Jahren*. Stuttgart, S. 224–228.

TOMASELLO M, MELIS A, TENNIE C & HERRMANN E (2012) Two key steps in the evolution of human cooperation: The interdependence hypothesis. *Curr. Anthropol.* 56, 1–20.

VLČEK E, MANIA D & MANIA U (2002) Der fossile Mensch von Bilzingsleben. *Beiträge zur Ur- und Frühgeschichte Mitteleuropas* 35. Weißbach.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Michael Brandt, Zittauer Str. 20, 01099 Dresden;
E-mail: michael-brandt@t-online.de

Vogelfedern und Vogelflug

Was eine Evolutionshypothese erklären müsste



Im Rahmen evolutionsbiologischer Ansätze wird die Entstehung von Vogelfedern und Vogelflug nach wie vor kontrovers diskutiert. Den Grund dafür bringen PROCTOR & LYNCH (1993, 88) so auf den Punkt: „Federn sind ein bisschen zu perfekt – das ist das Problem.“ Diese Perfektion zeigt sich nicht nur in den Einzelteilen der Vogelfeder, sondern in den komplexen Wechselbeziehungen der Teile des gesamten Flugapparats – für evolutionäre Hypothesen eine harte Nuss.

Reinhard Junker

Einleitung

Die Entstehung der Vogelfeder und des Vogelzugs gehört zu den prominentesten Themen der Ursprungsforschung in der Biologie (PRUM & BRUSH 2003). Im Rahmen evolutionsbiologischer Ansätze ist die Entstehungsweise bis heute umstritten. Die Mehrheit der Forscher sieht die hypothetische evolutionäre Entstehung der Feder nicht im Kontext der Entstehung des Fluges. Vielmehr sollen Federn ursprünglich andere Aufgaben gehabt haben (Wärmedämmung, Balz u. a.) und erst später zusätzlich für den Flug verwendet worden sein. Nur wenige Forscher sind der Auffassung, dass Federn von Beginn an für den Flug evolviert seien.

Sowohl neuere Befunde aus der Embryologie und Entwicklungsgenetik als auch zahlreiche neue Funde von Dinosauriern mit faserigen oder fiederigen Körperbedeckungen haben in

den letzten etwa 20 Jahren die Datenbasis für Modellierungen der Entstehung von Vogelfedern und Vogelflug erheblich erweitert. Theoretische Szenarien zur Entstehung von Federn und Flug können daher einem sehr viel umfangreicheren und detaillierteren „Faktencheck“ unterworfen werden. Ob damit auch mehr Klarheit über die Entstehung dieser hervorstechendsten Merkmale der Vögel erreicht wurde, soll in diesem Artikel und nachfolgenden Beiträgen untersucht werden. In vielen Fachartikeln und noch mehr in populären Darstellungen wird einerseits häufig der Eindruck erweckt, als sei mit den zahlreichen Funden „befiederter“ Dinosaurier der evolutive Weg zur Vogelfeder und zum Vogelflug in Grundzügen geklärt. Andererseits hat in den letzten Jahren auch die Anzahl der unterschiedlichen Modelle zur Entstehung des Vogelzugs zugenommen – ein ziemlich sicheres Symptom dafür, dass diese Frage nicht beantwortet ist.

Hinweis zu den Anmerkungen:

Die Anmerkungen enthalten Belegzitate und weitere Informationen; sie können als Zusatzmaterial zum Artikel unter www.si-journal.de/jg23/heft2/feder-und-flug.pdf heruntergeladen werden.

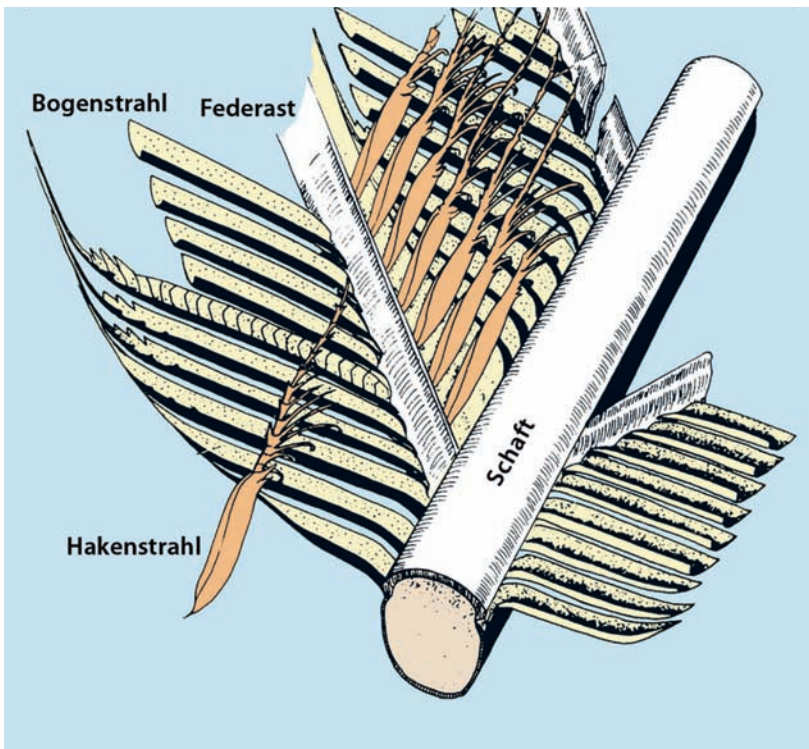


Abb. 1 Schaft, Federäste, Haken- und Bogenstrahlen. (AUS JUNKER & SCHERER 2013)

Wenn aufgeklärt werden soll, auf welchem Weg Vogelfeder und Vogelflug entstanden sein könnten, dann müssen das Erklärungsziel und die Anforderungen an eine gültige Erklärung klar beschrieben sein. Das heißt: Grundlegende Voraussetzungen hinsichtlich der strukturellen Anforderungen an Federn, einschließlich ihrer Verankerung im Körper, ihrer Beweglichkeit und Steuerung, ihrer Ontogenese, aber auch an das gesamte Federkleid und die Anatomie des Tieres als notwendige Bedingungen für die Flugtauglichkeit von Federn bzw. die Flugfähigkeit des Vogels allgemein müssen definiert und beachtet werden. Im Folgenden werden dazu einige Punkte detailliert betrachtet.

Kompakt

Vogelfedern sind die komplexesten Integumentstrukturen (Körperbedeckung) des Tierreichs und erfüllen vielfältige Funktionen. In diesem Beitrag steht ihre Funktion als Teil des Flugapparats im Fokus. Bei aller Perfektion ermöglichen Federn alleine jedoch bei weitem nicht die Flugfähigkeit. Neben geeignetem Federmaterial und detailliertem Feinbau ist auch eine passende Verankerung der Federn in der Haut unabdingbar, ebenso ein komplexes Geflecht von Federmuskulatur und Sinnesorganen für die Bewegung der Federn. Außerdem muss insgesamt ein funktionsfähiges Federkleid ausgebildet sein, vielfältige Steuerungsmechanismen und Koordination der Bewegungen sind erforderlich, eine entsprechende Gehirnorganisation und anderes mehr.

Entscheidend für die Funktionsfähigkeit von Federn sind auch Struktur und Komplexität des Follikels, insbesondere in der ontogenetischen Entwicklung und bei der Mauser. Da Federn durch verschiedene äußere Einflüsse abgenutzt werden, muss ihr Austausch in der Mauser geregelt sein – ebenfalls ein komplizierter Vorgang. Schließlich muss eine beständige Gefiederpflege mit den dafür erforderlichen Pflegemitteln und Verhaltensweisen garantiert sein.

Aus diesen Gründen weisen viele Forscher auf den Aspekt der Synorganisation bei Federn hin. Die einzelnen Module und Ebenen (Baumaterial bis Verhalten) können nicht isoliert voneinander verstanden werden und auch nicht isoliert entstanden sein. In Summe haben wir mit dem Federkleid eine Gesamtorganisation vor uns, die bezüglich der Flugfähigkeit nichtreduzierbar komplex erscheint und ein klares Design-Indiz darstellt.

Aufbau, Material, Pflege

Federn erfüllen gleichzeitig mehrere Funktionen, vor allem ermöglichen sie im Zusammenwirken mit vielen anderen morphologischen und verhaltensbiologischen Voraussetzungen die Flugfähigkeit, dienen aber auch der Thermoregulation, dem Tastsinn, der Brutpflege, dem physikalischen Schutz und der Wasserabstoßung und besitzen Signalfunktion (z. B. hinsichtlich Balz, Territorialverhalten). „Mehr als 20 Funktionen werden von Federn maßgeblich oder teilweise bestritten“ (KÄMPFE 2003, 42). Dafür müssen der Aufbau und das Material besondere Anforderungen erfüllen. Federn sind sehr filigrane Gebilde und trotz ihrer Leichtigkeit höchst robust und flexibel (PRUM & BRUSH 2003, 34). Der Leichtbau ist unverzichtbar für die Flugfähigkeit. Der Federerschaft ist dementsprechend im ausgewachsenen Zustand hohl und die Federproteine (beta-Keratine, eine bedeutende Klasse der Strukturproteine) ermöglichen ein geringes Gewicht. Die Federkeratine sind faserig und bilden untereinander feste Strukturen (PRUM & BRUSH 2003).

Jede Feder besteht aus über 1 Million Haken- und Bogenstrahlen (BERGMAN 2003, 34; vgl. Abb. 1-3). Ohne Haken an den Hakenstrahlen (wie zum Beispiel beim Vogel Strauß) sind die Federn nicht flugtauglich. Die Verhakung der Hakenstrahlen mit den gegenüberliegenden Bogenstrahlen kann bei Bedarf (z. B. bei mechanischer Beanspruchung) gelöst und in einer Art Reißverschlussverfahren wieder verknüpft werden. Aufgrund des Verhakungsmechanismus verhalten sich Schwungfedern trotz feiner Untergliederung der Federfahne wie eine geschlossene Tragfläche und sind erstaunlicherweise kaum luftdurchlässig. Eventuelle Risse können aufgrund dieses Bauprinzips mit Hilfe des Schnabels schnell repariert und die Geschlossenheit der Fläche wiederhergestellt werden.¹ „Nur durch diese Eigenschaft ist eine Feder als Element eines effizienten Flugapparats überhaupt tragbar“ (PETERS 1994, 404). „Gegenüber einer tatsächlichen Festfläche hat die Technologie einer Federfahne einen beträchtlichen Vorteil. Sie besitzt sozusagen vorgefertigte Trennlinien, an denen sie bei Extrembelastungen oder beim Anstoßen an irgendwelche Hindernisse aufreißen kann. Durch diesen Effekt des ‚eingebauten Nachgebens‘ wird verhindert, daß sich die Feder bei jeder akuten Überbelastung selbst zerstört“ (NACHTIGALL 1985, 38).

Das Bogen-Hakenstrahlen-System als strukturelle Voraussetzung würde allerdings noch nicht eine dauerhafte Flugtauglichkeit der Feder garantieren. Es sind auch Instandhaltung, Wartung und Pflege durch eine Art Schmieröl erforderlich, damit die Gelenke an den Bogen- und Hakenstrahlen intakt bleiben, Unebenheiten geglättet

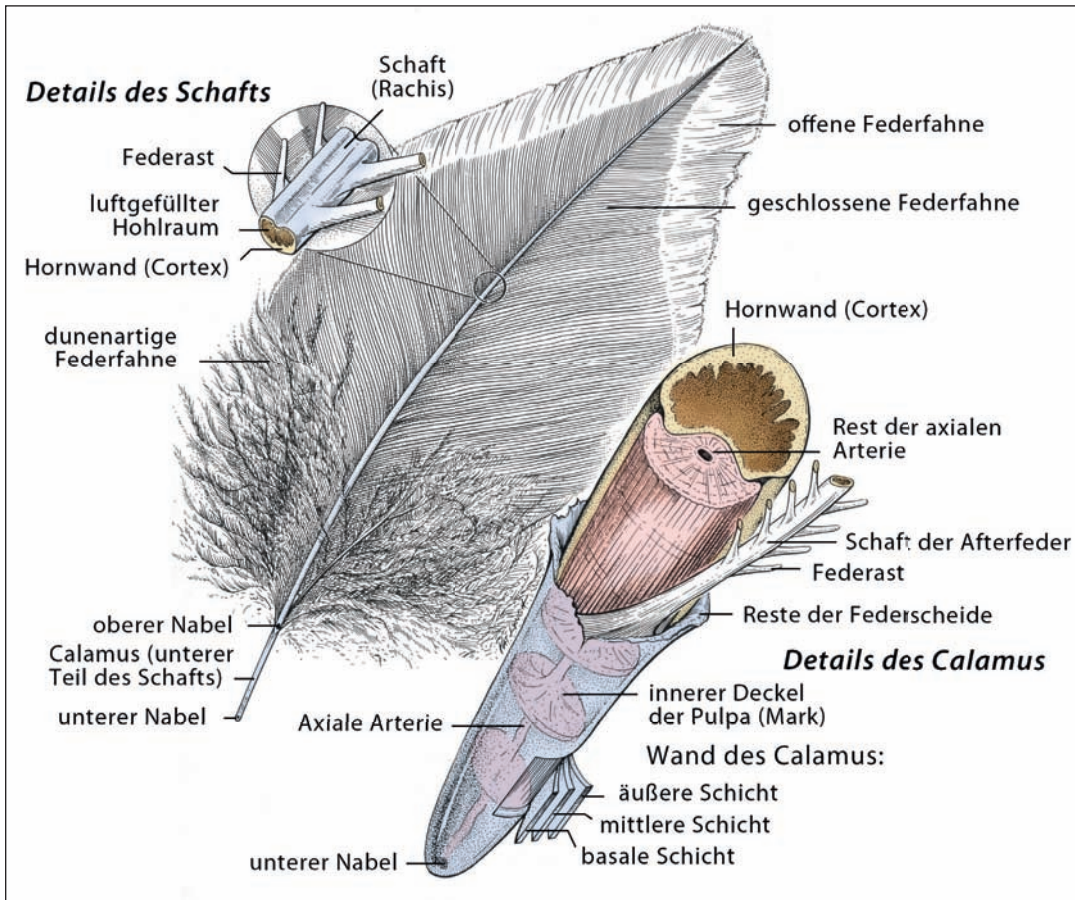


Abb. 2 Aufbau einer Konturfeder. (Nach PROCTOR & LYNCH 1993 bzw. LUCAS & STETTENHEIM 1972)

werden und somit die Funktionalität der Federn erhalten bleibt. Das Gefiederfett entnehmen die Vögel aus der im Bereich des Steies befindlichen Bürzeldrüse. Mit Hilfe des Schnabels verteilen die Vögel das Fett, was gleichzeitig der Imprägnierung dient und die Federn geschmeidig erhält. Für die Gefiederpflege benötigen Vögel viel Zeit², denn Federn müssen ständig einzeln von Schmutz und Parasiten gereinigt werden, damit sie in gutem Zustand bleiben und gegen Bakterien und Pilze geschützt sind.³

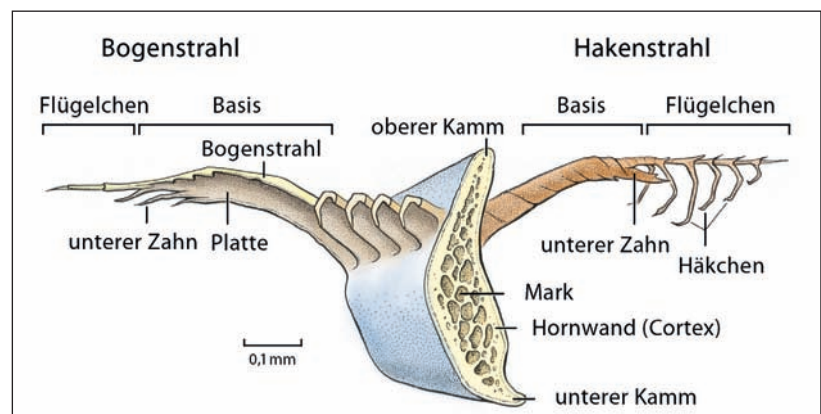
Bei flugunfähig gewordenen Vögeln gehen die Asymmetrie und der Verhakungsmechanismus der Federn schnell verloren.

Mikrostruktur. LINGHAM-SOLIAR & MURUGAN (2013) und LINGHAM-SOLIAR (2014) haben die Mikrostruktur von Federn detailliert untersucht und ein komplexes, verschachteltes System von überkreuzten Keratinfasern mit einem Durchmesser von 100–800 nm in der Proteinmatrix im Federschaft und in den Federästen entdeckt. Die Fasern sind in verschiedenen Lagen des Epicortex (seitliche Wände des Schafts) gegenständig angeordnet, und sie bilden eine ununterbrochene strukturelle Verbindung zwischen dem Cortex der Rachis und der Federstrahlen. Die seitlichen Wände, von denen die Federstrahlen (Bogen-

und Hakenstrahlen) ausgehen, sind sehr viel dünner als die Ober- und Unterseite. Dieses ausgeklügelte System im Bau und in der Anordnung der Keratinfasern ermöglicht die paradoxen, aber unabdingbaren mechanischen Qualitäten von Federn: Starrheit und Festigkeit einerseits und Leichtheit, Biegsamkeit und Elastizität andererseits.⁴ Die Fasern des beta-Keratin kombinieren Bruchsicherheit, Steifheit, Dehnbarkeit und Stauchbarkeit, Drehbarkeit und Reißfestigkeit (LINGHAM-SOLIAR 2014, 329).

Federform. Eine weitere notwendige Voraussetzung für die Flugtauglichkeit von Federn ist ihre äußere Form (Umriss). Um Auftrieb zu ermöglichen, muss die Luft oberhalb der Oberfläche der Feder schneller strömen als unterhalb (Bernoulli-Effekt). Dies wird dadurch erreicht, dass die Außenfahne, die gegen die Luftströmung steht, schmaler und steifer ist als die Innenfahne.⁵

Abb. 3 Details eines Federastes. (Nach PROCTOR & LYNCH 1993 bzw. LUCAS & STETTENHEIM 1972)



Nur asymmetrische Federn sind flugtauglich. Bei flugunfähig gewordenen Vögeln gehen die Asymmetrie und der Verhakungsmechanismus der Federn schnell verloren.

Zur Funktionalität der Federn gehört auch ihre Beweglichkeit. Sie wird dadurch ermöglicht, dass Federn in die Körperoberfläche eingesenkt sind (Abb. 4, 8). An einer eingesenkten Tasche, dem Federfollikel, setzt ein komplexes Geflecht von Muskeln und elastischen Sehnen an (Abb. 5, 6). Dabei sind mehrere benachbarte Follikel (und damit die Federspulen, Calami, die eingesenkten Teile der Federn) miteinander verbunden (BOCK 2000a, 479).⁶ KÄMPFE (2003, 41f.) beschreibt diese Muskeln wie folgt: „Zur Beweglichkeit der Federn heften sich am Federfollikel glatte Muskeln an und verbinden benachbarte Follikel. Die Faserzüge kreuzen sich und bilden Netzwerke. Hinzu treten quergestreifte Hautmuskeln. Dabei ist interessant, dass die Hebermuskeln der Feder weniger kräftig sind als die Depressormuskeln. Letztere werden nicht nur als Antagonisten der Heber, sondern vor allem zum Stabilisieren bei Luftströmungen benötigt. Ein gut entwickelter Fettkörper in den Vertiefungen der Körperoberfläche wirkt bei der Bewegung der Federn wie ein hydraulisches Kissen und trägt zur optimalen Federbewegung und -stellung bei.“ Durch dieses Geflecht von kräftigen Muskelsträhnen können die Einzelfedern aufgerichtet, gedreht und wieder niedergezogen werden (BURCKHARDT et al. 1979, 13). Bei Konturfedern (nicht bei Daunenfedern) ist somit ein komplexes hydraulisches skeleto-muskuläres System mit Fettkörper ausgebildet (HOMBERGER & DE SILVA 2000, 560). PETERS (2001, 397) beschreibt dieses System so: „Die Follikel der Konturfedern heutiger Vögel sind durch ein sinnvolles System glatter Muskeln verbunden. Die Bewegungen der Federn ergeben sich aus einem komplexen Zusammenwirken dieser Muskeln mit einem Hydroskelett aus elastischen Faszien und inkompressiblen Fettpolstern.“ Jeder Federfollikel ist „von 2-6 solcher glatten Muskeln gehalten, wobei jeder Muskel jeweils in mehreren Bündeln zwischen 2 Federfollikeln liegt und mit diesen Follikeln verbunden ist“ (BURCKHARDT et al. 1979, 13).

Muskeln benötigen Innervierung und Energiezufuhr über das Blut; die Steuerung der Muskeln bedarf auch der Information über die Stellung der Federn; dafür sorgen besondere Tastsinnesorgane: „Zu seiner Steuerung ist die nervliche Ausstattung des befiederten Integumentes optimal: An den Muskeln und Federbälgen sitzen zahlreiche Sensoren: Tastkörperchen sind besonders zahlreich. Sie registrieren vor allem die Bewegungen der Konturfedern (Abb. 7). Die Erregungsmuster werden in Rückenmark und Kleinhirn verarbeitet“ (KÄMPFE 2003, 42). HOMBERGER & DE SILVA (2000, 564) sprechen von einem Feedbackmechanismus durch ein kompliziertes Nerven-Netzwerk mit Tastrezeptoren und Innervation für die Bewegung.⁸

Flugtaugliche Federn mit den beschriebenen Bewegungs- und Steuermöglichkeiten würden aber noch keine Flugfähigkeit ermöglichen. Die Federn müssen auch sinnvoll auf der Körperoberfläche verteilt sein. Dementsprechend sind Federn nicht wahllos auf der Körperoberfläche angeordnet.

Befiederte Bezirke der Körperoberfläche werden als Federfluren bezeichnet, die unbefiederten als Federraine (Abb. 9); die Federn stehen relativ weit auseinander (MARTIN 2008, 46⁹). Neben den an den Follikeln ansetzenden Muskeln sind auch Muskelbezirke aus willkürlich beherrschten Hautmuskeln zur Bewegung der Federfluren notwendig. Weitere Hautmuskeln dienen als Spanner der Flughäute, als Spreizmuskeln der Flügelschwingen und als Aufrichter der Schwanzfedern (BURCKHARDT et al. 1979).¹⁰

Federn wachsen ganz anders als Reptilschuppen. Schuppen bilden sich aus Hautfalten, Federn dagegen erheben sich aus einer röhrenförmigen Hauteinsenkung (PRUM & BRUSH 2003, 35). Nur die ersten Stadien der Schuppen- bzw. Federontogenese – die Bildung einer Papille (Aufwölbung der Haut; Abb. 8) – sind vergleichbar. Die Federanlagen bilden sich bereits etwa ab dem 5. Lebenstag im Ei.

Die Papille wächst zu einem Zapfen aus, um den sich in der Folge ein tiefes Ringfeld bildet, wodurch der Zapfen eingesenkt wird – der Follikel (bzw. Federbalg) entsteht. In der weiteren Folge stellt sich der Zapfen schräg. Die Epidermis im Zapfen differenziert sich in die Federscheide (äußere Malpighische Schicht, sie fungiert als verhornende Schutzschicht) und in die Federanlage (innere dreiteilige Schicht). Der innere Teil des Zapfens – die Pulpa (das Mark) aus Hautgewebe – versorgt die wachsende Feder mit Nährstoffen und wird später hohl.

Nun bilden sich die Rachis und die Federfahne sowie ggf. die Federstrahlen in einem komplizierten Prozess. „Die Wachstumsmuster folgen ... einer besonders komplizierten Choreografie“ (PRUM & BRUSH 2003, 35); „eine komplexe Abfolge von Ereignissen vermittelt der Feder ihren Charakter als entweder weiche Daunenfeder oder als Flugfeder mit einer steifen Fahne“ (PROCTOR & LYNCH 1993, 86). Die Federn wachsen von der Basis her; im dort befindlichen Epidermalkragen (Bildungszone) teilen sich Keratinzellen und schieben ältere Zellen nach oben, die zu Teilen der Feder werden. Die am weitesten differenzierten Teile der wachsenden Feder befinden sich also oben. Die Feder entwickelt sich zunächst als Zylinder in der anfänglich noch geschlossenen Federscheide. Der Epidermalkragen teilt sich beim Hochwachsen gleich in Säulen (innerer Ring), aus denen später die Federäste werden. Bei den Konturfedern entsteht der Schaft dadurch, dass „die unteren Säulenden an einer Seite der Röhre eine nach der anderen miteinander verschmelzen. Gleichzeitig schieben sich an einer Stelle der Gegenseite von unten neue Säulen nach. Sie drücken dabei die schon vorhandenen Säulen schräg zur Seite, sodass sich diese spiralförmig um die Röhre legen“

„Federwachstum ähnelt mehr der Art, wie ein Bildhauer eine Statue aus einem Marmorblock herausmeißelt.“

(PRUM & BRUSH 2003, 36). Schließlich reißt die schützende Federscheide oben auf und entlässt die Feder.

Steve HUNTER beschreibt den Vorgang der Federbildung durch ein interessantes Bild: „Federwachstum ähnelt mehr der Art, wie ein Bildhauer eine Statue aus einem Marmorblock herausmeißelt – die Statue von David war schon im Felsen, Michelangelo entfernte lediglich alles, was nicht David war. In ähnlicher Weise startet eine Feder nicht als Schaft, aus dem Zweige sprießen, sie beginnt vielmehr als sich verjüngender Zylinder, und Zelltod formt die Strukturen.“¹¹

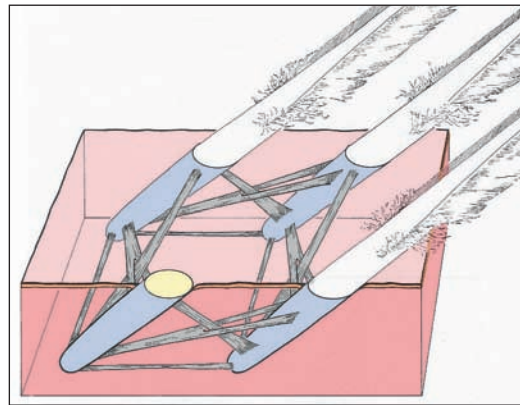
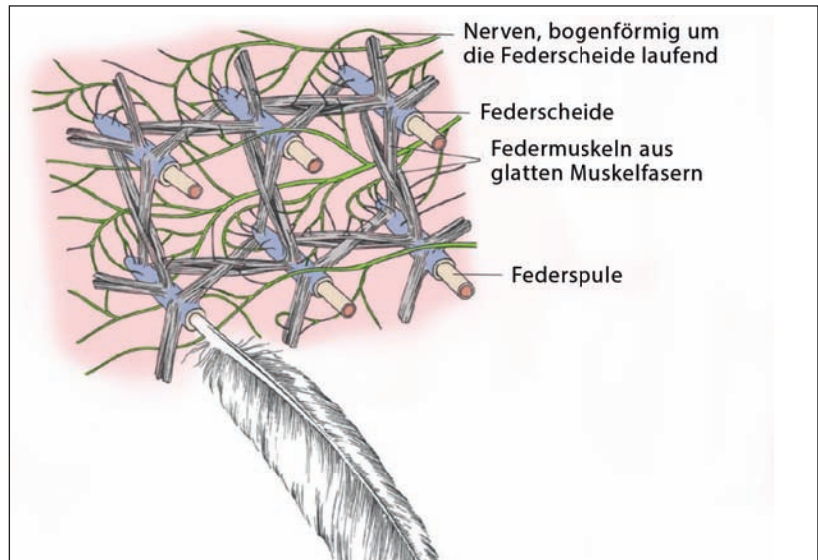


Abb. 5 Quervernetzte Muskulatur setzt an den Follikeln an. (Nach PETERS 2001; in Anlehnung an OSBORNE 1968)



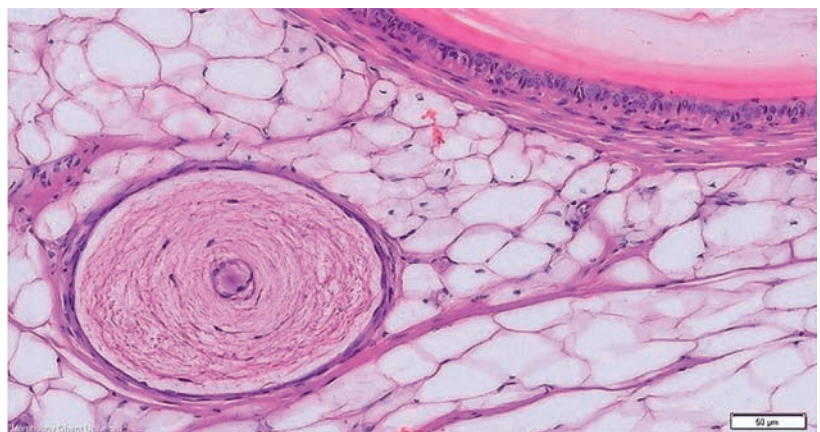
LIN et al. (2006) unterscheiden bei der ontogenetischen Federbildung fünf Prozesse, in denen allesamt komplexe molekulare Vorgänge beteiligt sind: Bildung der Makrostrukturen, Bildung der Feinstrukturen, Formbildung innerhalb der Einbuchtung, Formbildung des Folikels, Regeneration.¹²

Abb. 6 Muskel- und Fasergeflecht im Bereich der Follikel. (Nach BURCKHARDT et al. 1979)

Mauser

Federn nutzen sich im Laufe eines Jahres ab und müssen daher regelmäßig erneuert werden; diesen Vorgang nennt man Mauser. Die alten Federn fallen aus den Follikeln heraus, und es wachsen aus den gleichen Follikeln neue Fe-

Abb. 7 Herbst'sches Körperchen, Tastsinnesorgan im Bereich der Follikel. (www.histology-of-birds.com)



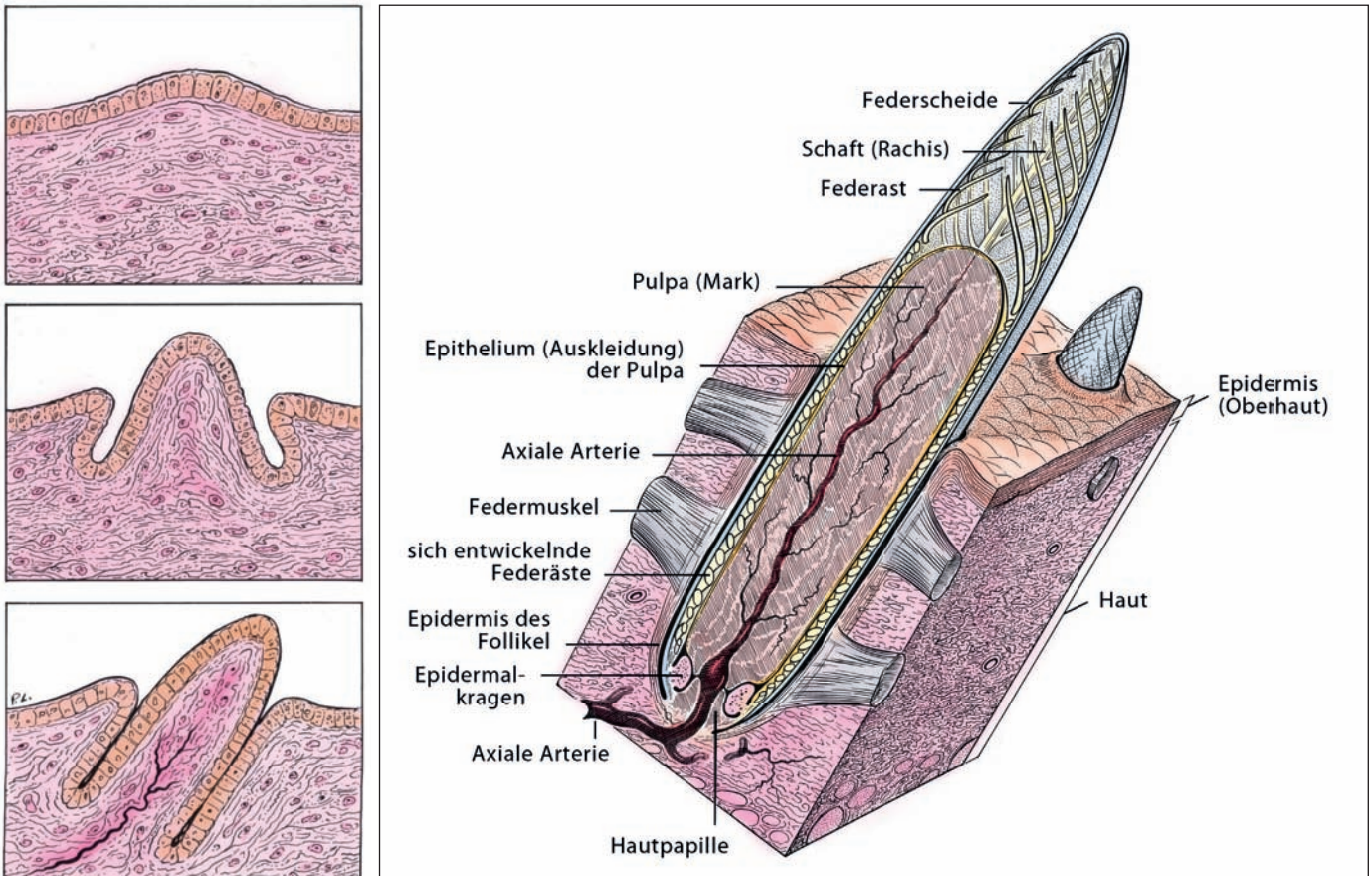


Abb. 8 Vier ontogenetische Stadien der Federentwicklung. Näheres im Text. (Nach PROCTOR & LYNCH 1993)

dern nach. Die Bildungszone wird dabei wieder aktiv. Die Mauser erfordert einen periodischen Wachstumsstillstand und eine Desorganisation des Epidermalkragens (Wachstumszone, vgl. Abb. 8), anschließend die Reorganisation des Kragens und Wiederaufnahme des Wachstums der neuen Feder (PRUM 1999, 301).¹³ Es ist offensichtlich, dass dieser Vorgang hohe Programmierkunst erfordert. Wann die Mauser erstmals entstand, ist unbekannt (PRUM 1999, 301).¹⁴

Nicht nur der Ersatz der einzelnen Federn erfolgt koordiniert, sondern auch die Abfolge des Austausches der Federn: „Wenn sich Vögel mausern, ersetzen sie ihre Flugfedern gewöhnlich nach einem festgelegten Schema, das von Art zu Art variiert. Die meisten wechseln ihre Arm- und Handschwingen beiderseits in Paaren, um während der Mauser flugfähig zu bleiben. Viele Wasservögel jedoch mausern alle Handschwingen gleichzeitig und sind dann für einige Wochen flugunfähig“ (KAMPHUIS 2008, 29).

plexe Federstruktur (PRUM & BRUSH 2002, 265; vgl. STETTENHEIM 2000, 471).¹⁵ Dabei hat der Follikel besondere Bedeutung. Er ist ein komplexes Organ, dessen Aufbau die Bildung und das Wachstum der Federn ermöglicht. Die Positionierung des Follikels und die Regulation der Entwicklung innerhalb des Follikels werden durch eine komplexe Abfolge von Induktionen und Kommunikation zwischen Haut und Epidermis festgelegt. Mit wenigen Ausnahmen werden alle Follikel, die die Federn im Laufe des Lebens eines Vogels hervorbringen, während der ersten 12 Lebenstage noch im Ei angelegt (PRUM 1999, 293).¹⁶ Dabei entwickeln sich die verschiedensten Federtypen aus derselben Grundstruktur des Follikels; dieses Organell kann somit sehr vielseitige Strukturen hervorbringen (PRUM 1999, 301).¹⁷ Obwohl also der Aufbau der Follikel (abgesehen von ihrer Größe) sehr einheitlich ist, kann daraus eine enorme Vielfalt von Federtypen hervorgehen.

Federn als neuartige Gebilde

Der Vergleich der Ontogenesen von Reptilschuppen und Vogelfedern lässt heute kaum einen Zweifel daran zu, dass Federn neuartige Gebilde sind – im Rahmen des Evolutionsparadigmas wird von einer evolutionären Neuheit gesprochen. Genauer gesagt kommen mehrere Neuheiten zusammen: der Follikel, die röhrenförmige Federanlage und die kom-

Synorganisation

Führende Wissenschaftler weisen darauf hin, dass Federn nicht als isolierte Strukturen betrachtet werden dürfen, sondern als Teil eines komplexen Organs, des Integuments (BOCK 2000, 479).¹⁸ Überlegungen zur Federevolution müssen daher auch die Verankerung der Federn in der Körperoberfläche und ihre Steuerung berücksichtigen (HOMBERGER & DE SILVA 2000, 554).¹⁹ Die

Körperhülle besteht in federtragenden Bezirken aus drei Schichten: einem hydraulischen skeleto-muskulären Apparat der Federn, einem System von Muskeln in der Unterhaut und einem hydraulischen System aus Fettgewebe (HOMBERGER & DE SILVA 2000, 556).²⁰ Die Haut- und Unterhautmuskeln bilden ein integriertes Muskelsystem, in welchem jeder Muskel eine spezifische Rolle spielt, um die korrekte Position und Anordnung der Federfluren auf der Oberfläche des sich bewegenden Körpers sicherzustellen, was notwendig für die einwandfreie Funktionsweise des hydraulischen skeleto-muskulären Apparats der Federn ist (HOMBERGER & DE SILVA 2000, 560).²¹

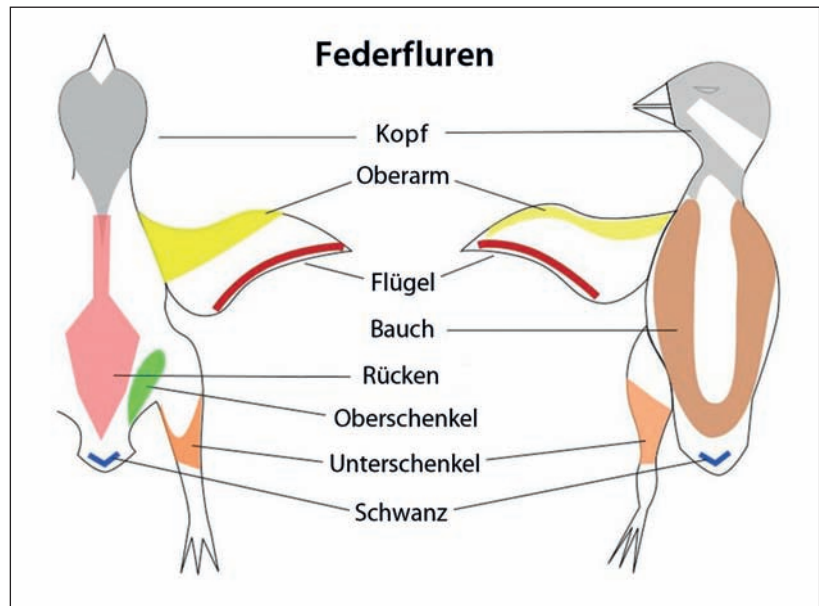
Den Aspekt der Synorganisation stellt auch BOCK (2000, 479) heraus: „Federn existieren nicht als isolierte Strukturen auf der Oberfläche des Vogelkörpers, sondern sind zusammen mit anderen Strukturen miteinander verbunden, um das Federkleid zu bilden. Das Gefieder bildet zusammen mit der Haut, einschließlich einer Fettschicht, Haut- und Unterhautmuskeln, Bändern und Sinnesorganen ... eine vernetzte Folge verschiedener Merkmale – ein Organ.“²²

Aus diesen Gründen ist es nicht realistisch, eine Evolution der Federn unabhängig von der Evolution des Vogelinteguments und aller seiner quervernetzten Strukturen zu diskutieren (BOCK 2000, 479).²³ Die Evolution der Vogelfedern sei von größeren damit verbundenen Innovationen ihrer Körperverankerung, Färbung, Anordnung, Betätigung, Wachstum und Mauser begleitet, so STETTENHEIM (2000, 461).²⁴ Struktur und Komplexität des Follikels sind dabei ebenfalls zu

Es ist nicht realistisch, eine Evolution der Federn unabhängig vom Vogelintegument und aller seiner quervernetzten Strukturen zu diskutieren.

berücksichtigen, wie PRUM (1999, 292) bemerkt: „... jede vollständige Theorie über den Ursprung der Federn muss nicht nur die Struktur der Feder selbst erklären, sondern auch die Struktur und Komplexität des Follikels.“ Ähnlich argumentieren MADERSON et al. (2000, 705): „Der Follikel und die Feder evolvierten zusammen, sie entwickeln sich zusammen und der Follikel ist eine genauso wichtige Erfindung wie die Feder.“ Die interstrukturellen Zusammenhänge der Federorganisation bzw. -funktionalität müssen letztlich im Kontext der Gesamtentwicklung des Organismus gedeutet werden: „Darüber hinaus muss die Erklärung der Körperhülle der Vögel und der Federn in einer ähnlich ganzheitlichen Weise im Zusammenhang der Evolution des ganzen Tieres betrachtet werden“ (BOCK 2000, 480).

Die Anordnung der Federn auf der Körperoberfläche bei Vögeln kann selektiv kaum



vorteilhaft sein ohne Steuerung durch ein effektives Kontroll- und Regulationssystem. Ebenso wenig können Federn als individuelle Strukturen evolviert sein, sondern müssen von Anfang an als gesamte Körperbedeckung entstanden sein, da der skeleto-muskuläre Apparat nicht als isolierte Einheit funktionieren kann, so HOMBERGER & DE SILVA (2000, 561). Aus demselben Grund – so diese beiden Autoren – konnten Federn nicht in isolierten Reihen von Flugfedern an den Vorderextremitäten oder am Schwanz von postulierten reptilartigen Vogelvorläufern entstanden sein, wie manchmal angenommen wird.²⁵

Für die Flugfähigkeit sind weiterhin Körperkontrolle und gute Manövrierbarkeit sehr wichtig. Diese Fähigkeiten müssen bereits von Anfang an vorhanden gewesen sein, dazu gehört auch die Landung (CAPLE et al. 1983, 456, 466).²⁶

Die vorstehenden Ausführungen machen deutlich, dass die Strukturen, die als Mindestvoraussetzungen für die Flugfähigkeit erforderlich sind, vielfach und über mehrere Ebenen vernetzt sind. Man kann daher im Falle von Vogelfedern (inklusive ihrer Verankerung und Steuerung) von „nichtreduzierbarer Komplexität“ sprechen.

Synorganisation spielt beim Bau der Feder somit eine wichtige Rolle: „Unser Verständnis der funktionalen Biologie der Feder und ihrer Rolle in der Evolution des Vogelflugs erfordert implizit eine Integration der Befunde über ihre faserige Mikrostruktur und die besser erkennbare grobe Anatomie“ (LINGHAM-SOLIAR & MURUGAN 2013, 2). „Biologische Materialien wie die Feder sind hierarchisch organisiert und detailliert konstruiert, so dass das endgültige Design es schwierig macht, die einzelnen Aspekte ihrer Funktionen vom Ganzen zu trennen. Es ist eine Art Fluidität zwischen den Funktionen und ihren Teilen (Multifunktionalität), die eine größere Anpassungsfähigkeit an verschiedene Stressfaktoren ermöglicht“ (LINGHAM-SOLIAR 2014, 324).

Abb. 9 Federfluren: Befiederte Bereiche der Haut. (Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0)

Zusammenfassung des Erklärungsbedarfs und Fazit

Eine Erklärung der Entstehung der Vogelfeder muss folgende Aspekte berücksichtigen:

- Die Vogelfeder ist eine komplexe Neuheit aus mehreren Innovationen: Follikel (Art des Federwachstums), röhrenförmige Federanlage, Federstruktur mit Haken- und Bogenstrahlen.
- Federmaterial, Federbau, Federkleid, Steuerungssysteme u. a. sind vielfach verschachtelt synorganisiert, wobei ganz verschiedene Ebenen aufeinander abgestimmt sein müssen: vom passenden Baumaterial über die Form von Konturfedern, deren Feinbau, Verankerung, Bewegung, Steuerung, Koordination im Verbund des ganzen Federkleids, der Skelettanatomie bis zum Verhalten und der Gehirnorganisation. Daher ist eine Diskussion zur Evolution der Vogelfeder ohne Berücksichtigung des Integuments unrealistisch (BOCK 2000, 479).
- Die Struktur und Komplexität des Follikels, auch im Zusammenhang mit ihrer ontogenetischen Entwicklung (PRUM 1999, 292);
- die Entstehung der Gefiederpflege mit den dafür erforderlichen Pflegemitteln und Verhaltensweisen;
- die komplexen und koordinierten Vorgänge bei der Mauser, gerade auch in Bezug auf die perfekte zeitliche Koordination mit saisonal bedingten Verhaltensweisen der Vögel (Brutzeit, Migration).

Man kann im Sinne der Evolutionstheorie argumentieren, dass für die Flugfähigkeit nicht alle genannten Fähigkeiten ausgebildet sein müssen. Sofern es dafür aus der rezenten Vogelwelt keine Analogie gibt, wäre das aber spekulativ. Aber selbst wenn dies zugunsten evolutionärer Ansätze zugestanden wird, ändert das nichts daran, dass auch die einzelnen Strukturen hochkomplex sind und nach allem unserem Wissen auch sein müssen, um zu funktionieren. So ist beispielsweise die Mauser ein hochkomplexer, koordinierter Vorgang, der nur in seiner Gesamtheit funktional und selektierbar ist und als nichtreduzierbares Subsystem gelten kann.

Es wird somit deutlich, dass die einzelnen Module und Ebenen (vom Baumaterial bis zum Verhalten) nicht isoliert voneinander verstanden werden und auch nicht isoliert entstanden sein können. In Summe haben wir mit dem Federkleid eine vielfach verschachtelte und vernetzte Gesamtorganisation vor uns, die insgesamt in Bezug auf die Flugfähigkeit nichtreduzierbar komplex erscheint und ein klares Design-Indiz darstellt. Denn nach allem unserem Wissen

wird eine top-down-Organisation benötigt, für welche einerseits natürliche Prozesse weit überfordert sind, die andererseits ein typisches Kennzeichen für Planung ist.

Literatur

- BERGMAN J (2003) The evolution of feathers: a major problem for Darwinism. *TJ* 17, 33–41.
- BOCK WJ (2000) Explanatory history of the origin of feathers. *Amer. Zool.* 40, 478–485.
- BURCKHARDT C, FÖLSCH DW & SCHEIFELE U (1979) Das Gefieder des Huhnes. *Animal Management / Tierhaltung* Volume 9.
- CAPLE G, BALDA RP & WILLIS WR (1983) The physics of leaping animals and the evolution of preflight. *Am. Nat.* 121, 455–476.
- HOMBERGER DG & DE SILVA KN (2000) Functional micro-anatomy of the feather-bearing integument: implications for the evolution of birds and avian flight. *Amer. Zool.* 40, 553–574.
- JUNKER R & SCHERER S (Hg, 2013) Evolution – ein kritisches Lehrbuch. Gießen, 7. Aufl.
- KÄMPFE L (2003) Federentstehung und Vogelflug – neue evolutionsbiologische Gesichtspunkte. *Praxis Nat. – Biol. in der Schule* 6, 40–46.
- KAMPHUIS A (2008) Vögel: Die große Bild-Enzyklopädie. München.
- LIN CM, JIANG TX, WIDELITZ RB & CHUONG CM (2006) Molecular signaling in feather morphogenesis. *Curr. Opin. Cell Biol.* 18, 730–741.
- LINGHAM-SOLIAR T (2014) Feather structure, biomechanics and biomimetics: the incredible lightness of being. *J. Ornithol.* 155, 323–336.
- LINGHAM-SOLIAR T & MURUGAN N (2013) A new helical crossed-fibre structure of β -keratin in flight feathers and its biomechanical implications. *PLoS ONE* 8(6): e65849.
- LUCAS AM & STETTENHEIM PR (1972) Avian anatomy. Integument. *Agriculture Handbook* 362, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
- MADDERSON PFA, HOMBERGER D et al. (2000) Symposium on evolutionary origin of feathers: Panel discussion. *Amer. Zool.* 40, 695–706.
- MARTIN LD (2008) Origins of avian flight – a new perspective. *Oryctos* 7, 45–54.
- NACHTIGALL W (1985) Warum die Vögel fliegen. Hamburg – Zürich.
- PETERS DS (1994) Die Entstehung der Vögel. Verändern die jüngsten Fossilfunde das Modell? In: *Morphologie & Evolution. Symposien zum 175jährigen Jubiläum der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft.* Frankfurt/M, S. 403–423.
- PETERS DS (2001) Probleme der frühen Vögel. I. Die Sache mit den Federn. *Nat. Mus.* 131, 387–401.
- PROCTOR NS & LYNCH PJ (1993) *Manual of ornithology. Avian structure & function.* Yale Univ. Press.
- PRUM RO (1999) Development and evolutionary origin of feathers. *J. Exp. Zool.* 285, 291–306.
- PRUM RO & BRUSH AH (2002) The evolutionary origin and diversification of feathers. *Quart. Rev. Biol.* 77, 261–295.
- PRUM RO & BRUSH AH (2003) Zuerst kam die Feder. *Spektr. Wiss.* 10/03, 32–41.
- STETTENHEIM PR (2000) The integumentary morphology of modern birds – an overview. *Amer. Zool.* 40, 461–477.

Anschrift des Verfassers:

Reinhard Junker, Rosenbergweg 29,
72270 Baiersbronn; E-mail: sg@wort-und-wissen.de

Erdgeschichte als Tatsache

Die Geschichte der Erde und des Lebens ist geschrieben – im Wesentlichen. Sie unterliegt zwar noch einer anhaltenden Verfeinerung und Ergänzung, aber Rahmen, Grundzüge und maßgebliche Inhalte sind faktisch. Besonders in ihrer verdichteten Form als erdgeschichtliche Zeittafel oder geologische Zeitskala ist sie seit Generationen weithin bekannt – wahrgenommen als Tatsache.

Wie aber konstituiert sich Erdgeschichte? Dass „Erdgeschichte“ gemacht ist, wird anhand verschiedener Perspektiven aufgezeigt.

Michael Kotulla

Einführung

Die Geologie ist in ihrem Wesenskern eine historische Wissenschaft. Ihre Untersuchungsobjekte sind die Gesteine¹ der Erdkruste. Der Geologe betrachtet sie als etwas Gewordenes; sie sind ihm Zeugen der Vergangenheit und Grundlage der Geschichtsschreibung:²

„In unendlich ferne Vergangenheit muss er [der Geologe, MK] zurückgreifen, um die Geschichte unserer Erde zu schreiben. Seine Urkunden sind die Gesteine; aus ihrer Beschaffenheit liest er die Umstände ihrer Entstehung heraus, und mit den Lebewesen, deren Reste er in ihnen vorfindet, bevölkert er in seiner Phantasie Länder und Meere längst vergangener Zeiten. Die Schichten der Erdrinde fasst er zu großen Formationen zusammen. Ihre Aufeinanderlagerung von unten nach oben gibt ihm zugleich die zeitliche Reihenfolge ihrer Entstehung und

damit der Geschichte der Erdoberfläche. Nach der Entwicklung des Lebens, die er in den einzelnen Formationen beobachtet, kommt er zur Aufstellung großer Perioden, die als Urzeit, Frühzeit, Altzeit, Mittelzeit und Neuzeit der Erdgeschichte betrachtet werden können. So entstand schließlich die geologische Formationstafel (...), die zugleich eine Geschichtstafel ist“ (LOTZE 1922, 6).³

Die Geschichte der Erde und die Geschichte des Lebens auf der Erde, verkürzt Erdgeschichte, wird seit über zweihundert Jahren „geschrieben“. Neben der Textdarlegung haben sich früh Visualisierungen etabliert, einerseits (erdgeschichtliche) Tabellen, andererseits ab Mitte des 19. Jahrhunderts Bilder, Szenen erdgeschichtlicher Perioden (Abb. 2).

Die erdgeschichtlichen Tabellen bzw. Skalen – als Verdichtung der Erdgeschichte – sind unter zahlreichen Bezeichnungen bekannt: geologische

Abb. 1 Die Verteilung von Land und Meer: das Gesicht der Erde heute (Ausschnitt). Ein in westlicher Richtung gerichteter Satellitenblick auf Kleinasien, das Schwarze Meer und Südosteuropa sowie über das Mittelmeer hinweg bis nach Nordafrika, zudem auf Südeuropa bis über die Apenninhalbinsel hinaus. Die cyanblauen Schlieren im Schwarzen Meer zeigen starke Nanoplankton-Blüten an, vermutlich hauptsächlich von Coccolithophoriden (Kalkflagellaten). Sie produzieren massenhaft Calciumkarbonat-Plättchen, mit denen sie ihre Zellkörper kugelförmig umschließen. (Foto/Credit: NASA; Aqua-MODIS-Aufnahme vom 15. Juli 2012)

Abb. 2 Erdgeschichte visualisiert: die Steinkohlen-Periode. Ein Szenen-Bild: Fiktion oder Realität? – Joseph KUWASSEG, aus der 18-teiligen Serie *Die Urwelt* nach Prof. Franz UNGER, um 1850⁵⁴; Aquarell auf Papier, je 48 x 66,5 cm; Sammlung Neue Galerie Graz; Foto: Neue Galerie Graz/N. Lackner (freundl. Zurverfügungstellung Universalmuseum Joanneum).



Hinweis zu den Anmerkungen:

Die Anmerkungen enthalten Belegzitate und weitere Informationen; sie können als Zusatzmaterial zum Artikel unter www.si-journal.de/jg23/heft2/erdgeschichte.pdf heruntergeladen werden.

Formationstafel, erdgeschichtliche Zeittafel, geologische Säule, Formationsskala, stratigraphische Tabelle u. v. m. Die durch die Internationale Stratigraphische Kommission (SALVADOR 1994) eingeführte formale Bezeichnung ist *Standardisierte Globale Chronostratigraphische Skala* (auch *Internationale Chronostratigraphische Tabelle* bzw. *Skala*, Abb. 3), sie bildet in ihrer jeweils aktuellen Version die Grundlage für eine Verknüpfung mit dem radiometrisch begründeten Altersmodell (*Geologische Zeitskala*).⁴

Mit der Institutionalisierung der Geowissenschaft, insbesondere der Einrichtung nationaler geologischer Dienste, deren Aufgabe u. a. die geologische Landesaufnahme und Kartierung war (und ist), haben die erdgeschichtlichen Aufstellungen quasi einen amtlichen Status erworben, „offiziell, bindend und gültig“. Der Geologische Dienst der US-Administration (USGS) beispielsweise gibt das Poster *Die geologische Zeitspirale – Ein Pfad zur Vergangenheit* heraus

(Abb. 4).⁵ Es vermittelt: Die erdgeschichtlichen Perioden sind real, die Zeitskala ist eine tatsächliche (inhaltlich identisch mit Abb. 3) und eine anorganische und organische Evolution hat wirklich stattgefunden. Es handelt sich um ein Beispiel unter vielen möglichen. Es zeigt einen der Wege auf, wie die „geschriebene“ Erdgeschichte Tatsachen-Status erlangt hat.

In der Folge wird zunächst der Frage nachgegangen, welche Elemente die Erdgeschichte konstituieren.

Elemente der Erdgeschichte

Entwurf eines Bildes

MURAWSKI (1977) zufolge unternimmt die Geologie den Versuch „ein Bild von der Geschichte der Erde und des Lebens zu entwerfen“⁶. Dieses Bild ist wohl als Gesamt-Bild zu verstehen. Auch wenn es nicht ausdrücklich Erwähnung findet, scheint es sich um einen *singulären* Entwurf zu handeln, den Erdgeschichts-Entwurf. Die Beschreibung der Aufgabenstellung deutet an, dass Erdgeschichtsforschung und Erdgeschichtsdesign eng miteinander verwoben sind (s. o. LOTZE 1922).

Gegenstand der Untersuchung sind die „durch natürliche und künstliche Aufschlüsse zugänglichen Teile der Erdkruste mit ihren Gesteinen, Lagerungs- und Umwandlungserscheinungen“ sowie ihr „Fossilinhalt“. – Implizit verbirgt sich eine essenzielle Annahme: Die Kruste der Erde wird als Geschichte betrachtet⁷, als einzige Grundlage für den Bild-Entwurf der Vergangenheit.

Kompakt

„Erdgeschichte“ ist kein neutraler, ergebnisoffener Entwurf der Vergangenheit. „Erdgeschichte“ ist mit festen Attributen besetzt; sie konstituiert sich aus uniformitaristisch/aktualistisch-fiktiver Konstruktion, Langzeit-Projektion und Evolution. Dieses geschaffene Universum aber darf nicht mit *wahrer* oder *wirklicher* Geschichte gleichgesetzt werden.

Die gemachte „Erdgeschichte“ hat seit Generationen Einzug in das staatliche Verwaltungs- und Bildungswesen genommen und das gesellschaftliche Leben durchdrungen. In der Hauptsache sind es vermeintlich „zweifelsfrei etablierte Fakten“, die als Tatsachen oder Quasi-Tatsachen publiziert und verbreitet werden. Die breite Öffentlichkeit kann diesen Transformationsprozess in Fakten i. d. R. nicht differenzieren; für sie ist das, was *als* Tatsache publiziert und verbreitet wird, *wirklich* Tatsache. Dies trifft im Besonderen und in eklatanter Weise auf die erdgeschichtlichen Tabellen und Skalen zu, die „Erdgeschichte“ verdichtend und visualisierend darstellen.

Lange Zeit

LOTZE (1968, 7) hat eine weitere fundamentale Annahme ausgesprochen: Die Geologie geht „davon aus, dass das heutige Erscheinungsbild der Erde das Ergebnis einer langen und wechselvollen Entwicklung ist (...)“. „Diese (allzu oft in Vergessenheit geratene) Annahme einer „Langzeit“ gründet im Wesentlichen auf eine Vorstellung von HUTTON (1788): der Idee „unermesslich verflossener Zeiten“, der Idee einer unlimitierten Zeit. Sie ist insbesondere von LYELL (1830–33) aufgegriffen und theoretisch (methodologisch) begründet worden (s. nachfolgenden Punkt). BUCKLAND (1836) zufolge hatte sich in damaligen Fachkreisen eine Langzeit-Vorstellung im Laufe von etwa 50 Jahren etabliert.⁹ Seiner Ansicht nach könne die Bildung der fossilführenden Gesteine (etwa vergleichbar mit dem Phanerozoikum, Abb. 3) einen Zeitraum von Millionen von Millionen Jahren ausgefüllt haben¹⁰ (Diskussion s. KOTULLA 2015).

Im Begriff der *geologischen Zeit* schließlich sind die Langzeit-Vorstellungen verborgen, mitunter auch als *Idee der geologischen Zeit* oder *Konzept der geologischen Zeit* ausgedrückt. Eine häufiger verwendete Metapher für die geologische Langzeit ist *Tiefenzeit* („deep time“).

Im Begriff der geologischen Zeit sind die Langzeit-Vorstellungen verborgen.

Uniformitaristisch-fiktive Konstruktion

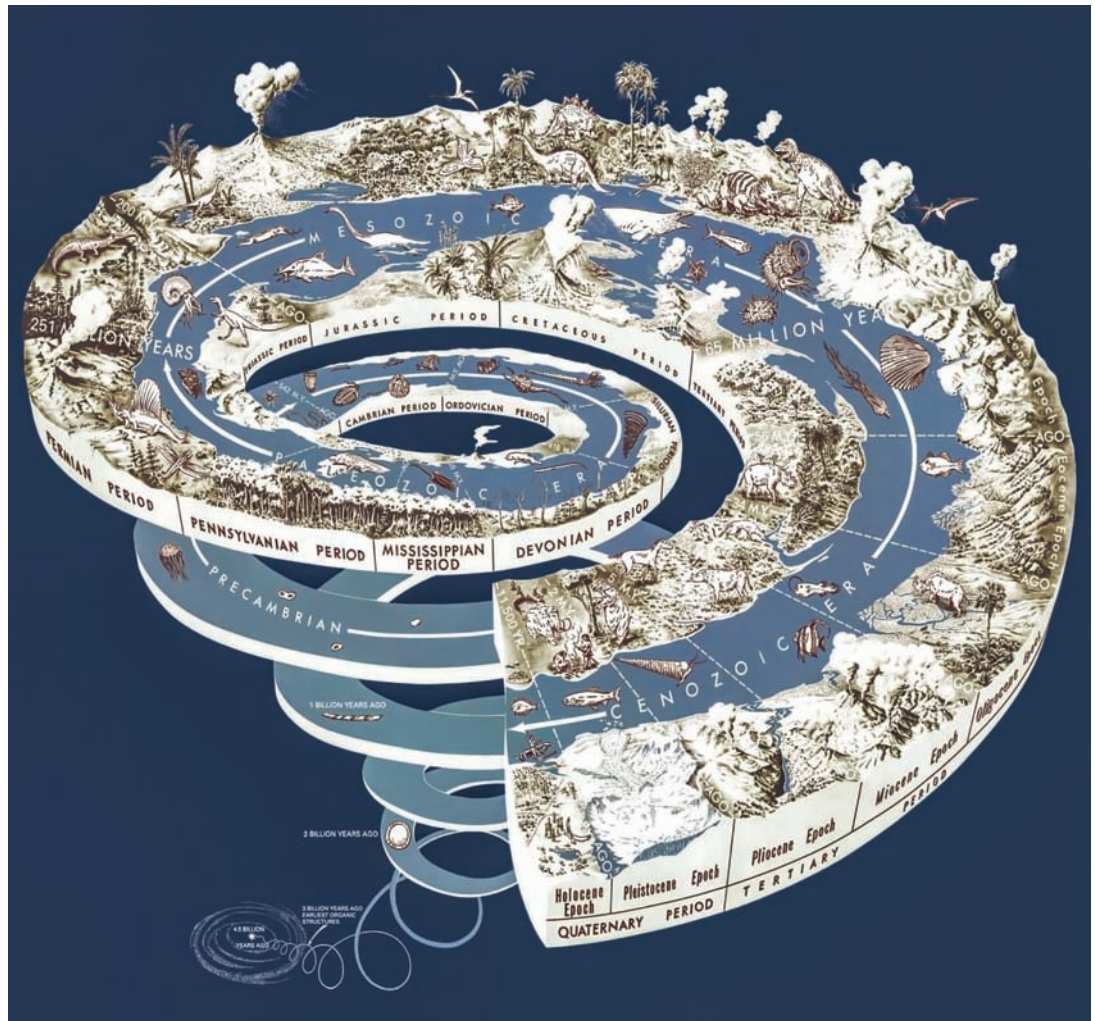
Die geologische Überlieferung ist nicht selbstredend; an den geologischen Objekten hängen keine Schildchen wie „so geschehen“, „so lange gedauert“ oder „vor so langer Zeit gelebt“. Es war der Jurist und Geologe Charles LYELL (1797–1875), der zur Interpretation geologischer Phänomene einheitliche Prinzipien (Regulative) einführte. Sein Programm ist bereits im Untertitel seines erstmals 1830–33 erschienenen Hauptwerkes *Principles of Geology* formuliert: *Ein Versuch, die früheren Veränderungen der Oberfläche der Erde unter Bezug auf Ursachen, die gegenwärtig im Gange sind, zu erklären.* Oder sprachlich moderner: (...) *durch heute wirkende Ursachen zu erklären.*

Die bekannte Redewendung „die Gegenwart ist der Schlüssel zur Vergangenheit“ ist allerdings keine Aussage LYELLS.¹¹ Sie erfasst nicht ganz den Kern seines Prinzipienwerks. In Kürze und ebenfalls vereinfacht: LYELL ließ für die Deutung der Vergangenheit als einzige Erfahrungsquelle nur beobachtbare gegenwärtige geologische Vorgänge zu (als „langsam und graduell“). Die

Äonothem /Äon	Ärathem /Ära	System/ Periode	Serie/ Epoche	Nume- risches Alter (Mra)
PHANEROZOIKUM	KÄNOZOIKUM	QUARTÄR	HOLOZÄN	0,0117
			PLEISTOZÄN	2,58
			PLIOZÄN	5,333
		NEOGEN	MIOZÄN	23,03
			OLIGOZÄN	33,9
		PALÄO- GEN	EOZÄN	56,0
			PALÄOZÄN	66,0
	MESOZOIKUM	KREIDE	OBERKREIDE	100,5
			UNTERKREIDE	~ 145,0
		JURA	OBERJURA	163,5
			MITTELJURA	174,1
			UNTERJURA	201,3
		TRIAS	OBERTRIAS	~ 237
			MITTELTRIAS	247,2
			UNTERTRIAS	252,17
		PERM	LOPINGIUM	259,8
			GUADALUPIUM	272,3
			CISARALIUM	298,9
	KARBON		PENNSYLVANIUM	323,2
			MISSISSIPPIUM	358,9
	PALÄOZOIKUM	DEVON	OBERDEVON	382,7
			MITTELDEVON	393,3
			UNTERDEVON	419,2
		SILUR	PRIDOLI	423,0
			LUDLOW	427,4
			WENLOCK	433,4
			LLANDOVERY	443,8
		ORDOVI- ZIUM	OBERORDOVIZIUM	458,4
			MITTELORDOVIZIUM	470,0
			UNTERORDOVIZIUM	485,4
		KAM- BRIUM	FURONGIUM	~ 497
	SERIE 3		~ 509	
	SERIE 2		~ 521	
	TERRENEUVIUM		541	
„PRÄKAMBRIUM“	NEO- PROTERO- ZOIKUM	EDIACARIUM	635	
		KRYOGENIUM	720	
		TONIUM	1000	
Auslassung von Proterozoikum (Teile) und Archaikum				4000
HADAIKUM				~ 4600

Abb. 3 Internationale Chronostratigraphische Skala; rechts mit Zuweisung geschätzter numerischer Alter des GTS2012-Altersmodells (s. Textteil) in Millionen [radiometrischen] Jahren (Mra).⁵⁵ Gliederungseinheiten (s. Kasten): chronostratigraphisch bzw. geochronologisch, z. B. System bzw. Periode; die kleinste Gliederungsebene Stufe/Alter mit etwa 100 Einheiten (nur Phanerozoikum) ist nicht ausgewiesen. Der Begriff Tertiär wird (international) nicht mehr als System bzw. Periode klassifiziert; stattdessen werden die Begriffe Paläogen und Neogen als Systeme/Perioden verwendet. Die Abschaffung des Begriffs Quartär ist zurückgenommen worden (s. GTS2004⁵⁶). – Nach Version v2015/01 der Internationalen Stratigraphischen Kommission (ICS) mit teilweise aktualisierten Alterswerten⁵⁷; deutsche Bezeichnungen nach STDK2012⁵⁸; Farbencode nach CGMW⁵⁹. Numerische Alter ohne Unsicherheiten. Grafik: F. MEYER.

Abb. 4 Visualisierte Erdgeschichte als Spirale. Die Originalbeschriftung lautet (in Übersetzung): „Die geologische Zeitspirale – Ein Pfad zur Vergangenheit.“⁶⁰ Die Bezeichnungen sind in Englisch; die Gliederung (Folge) ist im Wesentlichen identisch mit Abb. 3 (dort deutsche Bezeichnungen). Neben der Darstellung der die Epochen bzw. Perioden charakterisierenden Szenen werden zusätzlich Elemente der „Entwicklung“ (Spirale nach oben, aus dem „fernen“ Nebel; anorganische und organische Evolution) visualisiert. Diskussion s. Textteil. Grafik: Will STETTNER (freundl. Zurverfügungstellung).



Methodologie ist ein kompliziertes, geschickt verwobenes Konstrukt verschiedener Ausprägungen von Uniformität (Gleichförmigkeit),¹² das WHEWELL 1832 zusammenfassend als Uniformitarianismus¹³ bezeichnete und welches in Teilen mit dem deutschen Begriff des Aktualismus identisch ist. WHEWELL (1837) stellte bereits damals die Grundannahme in Frage: „(...) wir dürfen nicht willkürlich die Periode, in der wir leben, als Standard für alle anderen Epochen ansehen.“¹⁴

ENGELHARDT & ZIMMERMANN (1982, 354–355) zufolge ist für aktualistische und uniformitaristische Theorien Erdvergangenheit „immerwährende Gegenwart“; so bestehe das Vorhaben darin, aus den überlieferten Objekten „vergangene Gegenwart“ zu rekonstruieren. Und: Das regulative Prinzip der Uniformität werde auch heute noch als die wichtigste Grundlage der geowissenschaftlichen Forschung angesehen.¹⁵

AGER (1993) bezeichnet LYELL als Hohepriester des Uniformitarismus. An einer Vielzahl von Beispielen zeigt AGER auf, dass der „substanzielle Uniformitarismus“¹⁶ (gleichförmige Raten oder Bedingungen) zahlreiche unterschiedliche geologische Erscheinungen nicht erklären kann. Im Gegenteil: Die stratigraphische Überlieferung (s.

Kasten) sei voll von Beispielen von Prozessen, welche weit davon entfernt sind, als „normal“ bezeichnet werden zu können (vgl. KOTULLA 2014b). Denn die Sedimentation in der Vergangenheit sei sehr oft rasch und sehr unregelmäßig gewesen.¹⁷ Bis zu dieser Erkenntnis, so räumt er ein, wirkte das LYELL'sche System wie eine Gehirnwäsche.¹⁸

Die Feststellung von ENGELHARDT & ZIMMERMANN (s. o.) scheint gegenwärtig, über 30 Jahre später, trotz vielfältiger Kritik, noch immer im Wesentlichen zu gelten. Zwar werden in zunehmendem Maße hochenergetische, katastrophische Vorgänge in Fachkreisen akzeptiert, sie werden aber ausschließlich im Rahmen des Langzeit-Entwurfs interpretiert – u. a. als seltene Vorkommnisse (Stichworte: „moderner Katastrophismus“; „Konzept des seltenen Ereignisses“¹⁹) oder als moderate, unregelmäßige Einzelereignisse (Stichwort: „Ereignisstratigraphie“²⁰).

Das Prinzip der Uniformität „erlaubt(e)“ geologische Zeitrechnung mit einfachen summarischen Methoden.²¹ Über angenommene, gleichförmige Raten (z. B. der Sedimentation) wurden für die Dauer des Phanerozoikums (bzw. das Alter der Erde) Dutzende oder Hunderte von Millionen Jahren ermittelt. Die Versuche der Zeitbestimmung nahmen u. a. die Funktion der

mittelbaren Bestätigung des Langzeit-Entwurfs ein (s. vorhergehenden Punkt). Die Annahmen waren bekanntermaßen nicht verifizierbar, aber die Ergebnisse wiesen doch auf die Größenordnung hin, „(...) welche den geologischen Perioden zugewiesen werden sollten.“²²

Die LYELL'sche Lehre war nicht nur ein „erdgeschichtlicher“ Gegenentwurf zu einem damals teilweise noch verbreiteten Katastrophismus²³; in ihrer konsequenten Befolgung hat sie zu einer voreingenommenen, fiktiven Konstruktion der Erdvergangenheit geführt. Anstelle einer vermeintlich gewollten Entschlüsselung der Vergangenheit ist diese durch Anwendung der o. g. Prinzipien verschlüsselt (codiert) und unkenntlich gemacht worden (vgl. AGER oben).

Integrierte Evolution

Evolution, konkreter: Makroevolution, ist integraler Bestandteil des Langzeit-Entwurfs. Es war der Naturforscher und Geologe Charles DARWIN (1809-1882), der insbesondere mit seinem Werk *Origin of Species* (1859) maßgeblichen Anteil am Durchbruch des Evolutionsgedankens hatte. Für seine Theorie der „Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl“²⁴ lieferte er zwei Grundannahmen gleich mit, ohne die seine Theorie unhaltbar wäre: die Notwendigkeit unermesslich langer Zeiträume und die Notwendigkeit der Lückenhaftigkeit der Fossilüberlieferung. Sie scheinen weitaus stärker zu wiegen als der postulierte Modus Operandi der „natürlichen Zuchtwahl“ (natürlichen Selektion) selbst. Diese seine Beobachtungen der (langsamen) „Veränderlichkeit“ durch Domestizierung hatte er einfach in die Vergangenheit extrapoliert, bis er über eine weitere der Extrapolation innewohnende Analogie zu seinem Startpunkt gelangte: „(...) so dass alle Organismen von einem gemeinsamen Ursprung beginnen“ (DARWIN 1872, 642).²⁵ Dass diese Extrapolation aus biologischen Gründen mehr als fragwürdig ist, soll hier nur angemerkt werden.

DARWIN hatte die quasi-dimensionslose geologische Zeit mit Inhalt aufgeladen; damit entstand eine nahezu unauflösliche Wechselbeziehung zwischen dem Bedarf langer Zeit für die angenommene Evolution und ihrer Füllung durch ebendiese. LYELL integrierte diesen (theoretischen) Prozess der Organismenentwicklung, der unterm Strich Veränderung und Irreversibilität bedeutete, geschickt in sein uniformitaristisches Prinzipienwerk – als durch gleichbleibende Mechanismen verursacht. So gilt DARWIN, neben LYELL, als Hauptprotagonist der „Idee der geologischen Zeit“.²⁶

Einen Einblick in die moderne paläontologische Evolutionsforschung²⁷ gibt JES RUST

(2011) in seinem Buch *Fossilien – Meilensteine der Evolution*. In dessen Grundlagenteil kann das Zusammenspiel von Daten, Interpretation, Theorie und Weltanschauung gut herausgelesen werden: An den Fossilien (Daten) selbst könnten weder „historische Entwicklungen“ noch die „ihnen zugrunde liegenden Prozesse direkt“ beobachtet werden.²⁸ Die Fossilüberlieferung (die Summe aller Daten) aber erfahre durch die Paläontologie²⁹ „eine theoriegeleitete, biologisch orientierte Analyse“, eine „sorgfältige Interpretation, z. B. im Rahmen von evolutionsbiologischen, stammesgeschichtlichen, ökologischen, genetischen oder geologischen Hypothesen (...)“.

Eine Geschichte des Lebens indes würden die Fossilien nicht erzählen; so RUST (S. 10): „Ohne evolutionäres Denken und eine zugrunde liegende Theorie der Evolution bleiben die Fossilien lediglich interessante und für die Altersbestimmung nützliche Überreste von Organismen vergangener Zeiten. Eine ‚Geschichte des Lebens‘ erzählen sie ohne die Einsicht, dass der beobachtbare Wandel auf Evolution beruht, indes nicht.“ Es macht deutlich: Beides, sowohl das „evolutionäre Denken“ als auch die „Einsicht“, leitet sich nicht zwangsweise und schlüssig aus den Daten ab, sondern sind Konventionen, die auf willentlichen persönlichen Entscheidungen beruhen.

Zeit-relative, stratigraphische Universalskala

Die zahllosen Abfolgen von Gesteinskörpern (in der Hauptsache Sedimentgesteine) und die in ihnen enthaltenen Fossilien werden seit über 250 Jahren in zugänglichen Teilen der Erdkruste mit Methoden der Litho- und Biostratigraphie (s. Kasten) sowohl in ihrer Aufeinanderfolge als auch in ihrer räumlichen Verbreitung beschrieben, gegliedert und korreliert – lokal, regional und global. In hoch abstrahierter Form ist die Gesteinsüberlieferung in stratigraphischen Tabellen zusammengefasst und (materieller) Teil der bereits erwähnten *Internationalen Chronostratigraphischen Skala* (Abb. 3).

Mit der Methode der Chronostratigraphie (s. Kasten) allerdings wird ein virtuelles Hybrid aus Gestein und Zeit („time-rock“) erzeugt. Sie ist Mittel zur schrittweisen Transformation von dem Konkret-Gegebenen (dem Gesteinskörper) über seine Bildungszeit („repräsentiert ein bestimmtes Intervall geologischer Zeit“) zu einer Zeit-bezogenen (Zeit-relativen) Abstraktion. So werden relative „Zeitscheiben“ unbekannter Dauer konstruiert, die, abgetragen auf einer relativen Zeitkoordinate, in ihrer Abfolge (von oben nach unten) von der Gegenwart bis in die immer weitere Vergangenheit reichen – unmittelbar angrenzend und ohne Zeitlücken oder



Abb. 5 Präkambrium/Kambrium-Grenze am Fortune Head, Neufundland, Kanada. 1992 ist dort die Basis des Kambriums formal definiert worden, mit dem ersten Auftreten (der ersten fossilen Überlieferung) des Spurenfossils *Treptichnus pedum* (s. Abb. 6). – *T. pedum* als globaler stratigraphischer Marker hat sich allerdings nicht bewährt; das lokale „Erst-erscheinen“ soll „zeitlich“ erheblich schwanken und am Referenzpunkt ist das Fossil inzwischen auch einige Meter unterhalb der Grenze im Ediacarium gefunden worden. Eine Neufestlegung der Grenze ist in Diskussion (BABCOCK et al. 2014). Foto: Liam HERRINGSHAW (Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0), 2012.

Tab. 1 Chronostratigraphische und äquivalente geochronologische Einheiten (vgl. Abb. 3), hierarchisch absteigend; die konkreten Namen der ausgewiesenen einzelnen Einheiten sind identisch (mittlere Spalte). In Klammer Bezeichnungen in Englisch.

Chronostratigraphische Einheiten	Identische Namen, Beispiele	Geochronologische Einheiten
Äonothem (Eonothem)	Phanerozoikum	Äon (Eon)
Ärathem (Erathem)	Paläozoikum	Ära (Era)
System (System)	Devon	Periode (Period)
Serie (Series)	Mitteldevon	Epoche (Epoch)
Stufe (Stage)	Eifel bzw. Eifelium	Alter (Age)

Zeitüberlappungen (immaterieller Teil der chronostratigraphischen Skala). Für die chronostratigraphische Gliederungseinheit „System“ heißen die „Zeitscheiben“ Quartär, Neogen, Paläogen (beide zusammen zuvor Tertiär), Kreide usf. (Abb. 3). Die chronostratigraphischen Einheiten (Stufe, Serie, System etc.) erfahren lediglich eine formale Definition ihrer unteren Grenze durch einen weltweit einzigen Grenzpunkt (GSSP-Konzept, s. Kasten; Abb. 5 und Abb. 7a/b); nur hierdurch erfolgt die Verknüpfung mit dem konkreten Gesteinskörper. In diesem Kontext fungieren Lithostratigraphie, Biostratigraphie und andere Methoden wie die Magnetostratigraphie „lediglich“ als Korrelationsmethoden.

Die (materielle-immaterielle) Abstraktion hat u. a. die Funktion einer Verallgemeinerung; einmal implementiert impliziert sie – mit Bezug auf die Erde – eine universelle Gültigkeit. Definitionsgemäß werden chronostratigraphische Einheiten von synchronen Flächen begrenzt (vgl. Zeit-Bezugsflächen, KOTULLA 2016). Diese konzeptionelle Notwendigkeit („abstraktes Muss“) ist physisch nur unzureichend darstellbar. Die definierten Grenzmarker sind häufig nur regional oder überregional, aber nicht global zu beobachten; ein synchrones Auftreten ist nicht sicher bzw. nicht oder nur selten überprüfbar. Insbesondere ist nicht davon auszugehen, dass ausgewählte Marker-Fossilien (erstes Auftreten von ...) das Gleichzeitigkeitskriterium erfüllen.

Der abstrakten, durchgängigen chronostratigraphischen Skala lassen sich (prinzipiell) alle physischen Gesteinskörper zuordnen bzw. an ihr

abtragen, das gleiche gilt für ausgewiesene Ereignisse. Sind Revisionen notwendig, so betreffen sie entweder die Zuordnung oder die Grenzziehung; die abstrakte Skala dagegen ist – unabhängig von ihrer Gliederung – fix.

Die gesamte Gliederungsstruktur aber ist eine künstliche, auch wenn sie sich teilweise in Bezug auf die verwendeten Termini und deren ursprünglicher Bedeutung von konkreten Gesteinskörpern ableitet (z. B. Karbon). So ist die Anzahl der ausgewiesenen Systeme, Serien oder Stufen willkürlich, ebenso willkürlich auch die jeweilige Grenzziehung (GSSP-Konzept). Für die formale Definition der Präkambrium/Kambrium-Grenze (Abb. 3) beispielsweise wurden zuvor Kriterien festgelegt (1974, Arbeitsgruppe der Subkommission „Kambrische Stratigraphie“); u. a. sollte die „Ediacara-Fauna“³⁰ auf jeden Fall als präkambrisch betrachtet werden. Schließlich wurden drei Lokalitäten (GSSP-Kandidaten) zur Wahl gestellt; im zweiten Wahlgang (nur die Sieger-Lokalität des ersten Wahlgangs stand zur Disposition) erhielt die Lokalität am Fortune Head (Neufundland, Abb. 5) eine knappe Mehrheit (14 von 23 Stimmen, 61%; BRASIER et al. 1992). Die Präkambrium/Kambrium-Grenze ist seitdem mit dem ersten Auftreten³¹ des Spurenfossils *Phycodus pedum* (nunmehr *Treptichnus pedum*, Abb. 6) festgelegt.

Die formalen *Zoikum*-Termini (gr.: *zoikós*, tierisch) wie Proterozoikum („Erdfrühzeit“ [der Tiere]) und Phanerozoikum sowie Paläozoikum („Erdaltertum“ oder „Erdaltzeit“), Mesozoikum („Erdmittelalter“ oder „Erdmittelzeit“) und Känozoikum („Erdneuzeit“) sind angelehnt an bzw. implizieren eine Evolution des Tierreiches; es handelt sich um eine (bewusste) Voreingenommenheit der chronostratigraphischen Methode und der Geochronologie.³²

Langzeit-Altersmodell

Die strikte Unterscheidung und Definition stratigraphischer Methoden regelt auch die Beziehung zur Geochronologie (s. Kasten, Tab. 1). Die (relative) chronostratigraphische Skala ist unabhängig von einem geochronologischen Altersmodell; so kann prinzipiell jedes Altersmodell mit der chronostratigraphischen Skala verknüpft werden – sei es z. B. das von LYELL³³, GTS2012 oder ein anderes.

Die Dauer des Phanerozoikums konstruierte LYELL (1867–68) zu 12 Zyklen mit je 20 Millionen Jahren, insgesamt 240 Millionen Jahren. Den „Perioden“ Pliozän, Miozän, Eozän (insgesamt Tertiär) oder Kreide, Jura, Trias wies er jeweils einen Zyklus zu. Dabei operierte er im Rahmen seiner uniformitaristischen Lehre zwar mit physikalischen und biologischen Parametern, keine

Stratigraphie und (relative) Zeit: Begriffe, Definitionen, Konzepte, Auswirkungen

Zahlreiche der hier aufgeführten stratigraphischen Begriffe, Definitionen und Konzepte sind dem *Internationalen Stratigraphischen Leitfaden* (SALVADOR 1994, nachfolgend A) unmittelbar entnommen; stellenweise fließen Ergänzungen aus den *Empfehlungen (Richtlinien) zur Handhabung der stratigraphischen Nomenklatur* (STEININGER & PILLER 1999, nachfolgend B) und *The Geologic Time Scale 2012* (GRADSTEIN et al. 2012, nachfolgend C) ein.*

Der Leitfaden unterscheidet hauptsächlich drei stratigraphische Methoden, Litho-, Bio- und Chronostratigraphie, sowie Geochronologie. Die sorgfältigen Beschreibungen und Definitionen der Begriffe und Prozeduren machen deutlich:

Es gilt zu unterscheiden zwischen den

1. materiellen Gesteinskörpern (mitsamt den Fossilien), den empirischen Daten, und
2. deren Interpretationen (u. a. Entstehung, Umwelt (Environment), geologische Geschichte). Der Leitfaden will als eine Empfehlung verstanden werden. So heißt es u. a.: „Einzelne, Organisationen oder Nationen sollen sich nicht verpflichtet fühlen, ihm [dem Leitfaden] oder einem Teil daraus zu folgen, es sei denn, dass sie von seiner Logik und seinem Wert überzeugt sind“ (A, 4).

Stratigraphie

Stratigraphie gilt der Beschreibung aller Gesteinskörper, die die Erdkruste aufbauen (auch der nicht geschichteten) (A, 13).

Lithostratigraphie

Lithostratigraphie ist jener „Teil der Stratigraphie, der sich mit der Beschreibung und der systematischen Gliederung der Gesteinsabfolgen der Erdkruste beschäftigt (...)“ (A, 31). Die *lithostratigraphische Klassifikation* gliedert „Gesteinskörper aufgrund ihrer lithologischen Eigenschaften in Einheiten“. Die formalen *lithostratigraphischen Einheiten* sind, hierarchisch aufsteigend: Bank oder Lage (bed), Subformation (member), Formation (formation), Gruppe (group). Die Formation ist die „Grundeinheit“ der *lithostratigraphischen Klassifikation*, insbesondere als kartierbare Einheit und zur Beschreibung und Interpretation der Geologie einer Region (A, 33).

„Beobachtbare lithologische Merkmale“ können u. a. „sedimentologischer, petrologischer, mineralogischer, paläontologischer, chemischer, physikalischer, morphologischer“ Natur sein (B, 6). Auch den Fossilinhalt gilt es zu berücksichtigen, aber als rein lithologisches Merkmal.

Biostratigraphie

„Jener Teil der Stratigraphie, der sich mit der Verteilung der Fossilien in der stratigraphischen Überlieferung sowie mit der Gliederung der Schichtfolgen in Einheiten auf Basis ihrer enthaltenen Fossilien beschäftigt“ (A, 55). Die biostratigraphische Basiseinheit ist die „Biostratigraphische Zone“ oder abgekürzt „Biozone“.

Chronostratigraphie

Chronostratigraphie ist „jener Teil der Stratigraphie, der sich mit den relativen Zeitbeziehungen und dem Alter der Gesteinskörper beschäftigt“ (A, 77) oder anders ausgedrückt mit „der relativen Zeitgliederung anhand von Gesteinskörpern“ (B, 4).

Die *chronostratigraphische Klassifikation* gliedert „die Gesteine der Erdkruste aufgrund ihres Alters oder der Zeit ihrer Entstehung in Einheiten“ (relativ, s. o.). Ihr Ziel ist es, „die Gesteine der Erdkruste in benannte Einheiten (chronostratigraphische Einheiten) zu gliedern, die Intervallen der geologischen Zeit (geochronologische Einheiten) entsprechen; [sie] dienen als eine Basis für eine Zeitkorrelation und ein Referenzsystem, um Ereignisse der geologischen Geschichte zu verzeichnen.“ Als „spezifische Zielsetzungen“ gelten „a) die Bestimmung lokaler [relativer] Zeitbeziehungen“ (die einfache Bestimmung der relativen Alterfolge von Schichten in lokalen Profilen, ohne Bezug zu chronostratigraphischen Einheiten) sowie „b) die Schaffung einer *Standardisierten Globalen Chronostratigraphischen Skala*“ (auch *Internationale Chronostratigraphische Skala*). Diese Skala „ist eine vollständige und systematisch angeordnete Hierarchie definierter und benannter *chronostratigraphischer Einheiten* mit regionaler und weltweiter Geltung. Eine derartige Hierarchie fungiert als Standard-Rahmenwerk, um das [relative] Alter von Gesteinskörpern auszudrücken und alle Gesteine der Erdgeschichte miteinander in Beziehung zu setzen. Die benannten Einheiten jeder Ebene dieser *Standardisierten Globalen Chronostratigraphischen Skala* umfassen, als Ganzes, die komplette stratigraphische Abfolge – ohne Lücken und ohne Überlappungen“ (A, 77-78). Die *chronostratigraphische Einheit* ist „ein Gesteinskörper, der alle Gesteine umfasst, die während eines bestimmten geologischen Zeitintervalls gebildet wurden (...) *Chronostratigraphische Einheiten* werden von synchronen Flächen begrenzt. Das relative Ausmaß dieser Einheiten und ihre Stellung in der *chronostratigraphischen Hierarchie* hängen von der Länge des Zeitintervalls ab (...) und nicht von ihrer physikalischen Dicke“ (A, 78). Etwas anders ausgedrückt: Chronostratigraphische Einheiten sind „Gliederungen von Gesteinskörpern auf der Grundlage der geologischen Zeit“ (A, 103). Und als weitere Funktion: Sie bilden die Grundlage für eine weltweite Kommunikation und Verständigung (A, 103).

Die formalen *chronostratigraphischen Einheiten* sind, hierarchisch aufsteigend: Stufe („Grundeinheit“), Serie, System, Ärathem, Äonothem (Abb. 3, Tab. 1).

Geochronologie

Die *Geochronologie* beschäftigt sich mit der „Datierung und Bestimmung der zeitlichen

Abfolge von Ereignissen in der Geschichte der Erde“ (A, 16).

Die *geochronologische Einheit* ist eine Einheit der geologischen Zeit; „Zeit, die durch geologische Methoden bestimmt wird“. Die *geochronologische Einheit* ist „kein Gesteinskörper und deshalb keine stratigraphische Einheit“ (A, 16); sie ist immateriell. Die formalen *geochronologischen Einheiten* sind, hierarchisch aufsteigend: Alter, Epoche, Periode, Ära, Äon (Abb. 3). Die konkreten Bezeichnungen allerdings sind identisch mit denen der *Chronostratigraphie* (Tab. 1): Das *geochronologische Äquivalent* zu Kreide (System, *chronostratigraphisch*) ist Kreide (Periode).

Das Sanduhr-Beispiel

„(...) eine chronostratigraphische Einheit kann mit Sand verknüpft werden, der während eines bestimmten Zeitintervalls durch eine Sanduhr fließt, die korrespondierende geochronologische Einheit dagegen kann mit dem bestimmten Zeitintervall verglichen werden, während der Sand fließt. Es kann gesagt werden, dass die Dauer des Sandflusses ein bestimmtes Zeitintervall misst – zum Beispiel eine Stunde – aber von dem Sand selbst kann nicht gesagt werden, dass er eine Stunde ist“ (A, 10-11).

Grenz-Definition der chronostratigraphischen Einheit (GSSP-Konzept)

Jeweils die Basis einer (globalen) chronostratigraphischen Einheit ist (wird) durch einen globalen Grenz- oder Referenzpunkt definiert (i. d. R. auf Stufenebene); durch formale Festlegung eines Grenzstratotypus-Punktes in einem Grenzstratotypus-Profil (Global Boundary Stratotype Section and Point, GSSP; A, 90-91; Abb. 5 und Abb. 7a/b). Eine Anforderung an solch einen Punkt ist sein hohes Korrelationspotential, möglichst weltweit.

Damit wird die *Globale Chronostratigraphische Skala* letztlich durch eine Folge von Grenzpunkten definiert; mit anderen Worten: Das „Konzept behandelt und definiert lediglich die Grenzen der Einheiten, aber nicht den Inhalt der Einheit [selbst]. In einem chronologischen Sinn liefert es die abstrakte Dauer der Einheiten, aber nicht deren Inhalt. Es definiert eine Abstraktion in der Zeit und nicht eine materielle Gesteinseinheit“ (C, 34).

Methodologisch ist es scheinbar die einzig denkbare konstruktive Möglichkeit; denn ein Punkt kann weder eine Lücke noch eine Überlappung besitzen (s. o.). Demzufolge kommt der (globalen) Korrelation die höchste Bedeutung zu. Ob allerdings eine vermeintlich vorgenommene Korrelation tatsächlich eine Synchronität darstellt, ist nicht oder nur selten überprüfbar. Aber „ohne Korrelation sind stratigraphische Einheiten und ihre konstituierenden Grenzen nicht von viel Nutzen und ohne Bedeutung für die Erdgeschichte“ (C, 36).

*jeweils in Übersetzung; kursive Hervorhebung durch den Autor.

Abb. 6 Das Spurenfossil *Treptichnus pedum*. Das die Spuren verursachende Tier ist nicht bekannt. Ältere Bezeichnungen sind *Phycodes pedum*⁶¹ und *Trichophycus pedum*. Fundort: Estland (Bohrung Jägala F-110), Zuordnung: Unterkambrium; s. PALIJ et al. (1979). Foto: <http://fossilid.info/3424> (CC BY-NC 3.0).



einzig seiner Annahmen kann jedoch verifiziert werden (s. KOTULLA 2014, 2–32).

Die *Geologische Zeitskala 2012* (*Geologic Time Scale 2012*, GTS2012; Abb. 3) ist das Ergebnis der Verknüpfung der chronostratigraphischen Skala mit dem Altersmodell von GRADSTEIN et al. (2012). Das etablierte (radiometrische) Altersmodell in der Version von 2012 beruht auf etwas mehr als 260 ausgewählten Isotopenbestimmungen an geologischen Objekten bekannter stratigraphischer Stellung (z.B. Zirkonminerale vulkanischer Aschenlagen³⁴) und daraus abgeleiteter, interpretierter Alterswerte.³⁵ Der Basis des Kambriums wird ein Wert von 541 Millionen [radiometrischen] Jahren zugewiesen.³⁶

Ohne es ausdrücklich zu erwähnen, werden die interpretierten Isotopenalter der geologischen Zeitskala uneingeschränkt mit realem Alter gleichgesetzt. Die zugrunde liegende radiometrische Methode allerdings basiert ebenfalls auf fundamentalen Annahmen, die nicht verifiziert werden können (KOTULLA 2014).³⁷

Durch die Übernahme eines Altersmodells entstehen zahlreiche Wechselbeziehungen. Sie nehmen u. a. Einfluss auf die Interpretation geologischer Vorgänge der Vergangenheit, insbesondere wenn es um ihre Ablaufgeschwindigkeiten geht: Hebung und Senkung, Gebirgsbildung, Plattenbewegungen (Konzept der Plattentektonik); Erosion und Sedimentation; Aufstieg und Platznahme von Gesteinsschmelzen (Plutone); exzessive Lavaergüsse (Flutbasalte); Gesteinsumwandlung (Metamorphose); geomagnetische Polaritätswechsel und viele mehr.³⁸

Mit Bezug auf Sedimentation werden entweder einfach Durchschnittsraten ermittelt oder es entsteht z. B. folgende Situation: Ein 20–30 m mächtiger Crinoidenkalk³⁹ (Calcaire-à-entrouques-Formation, Burgund; Mitteljura) besteht aus einer Folge von 10–50 cm dicken Bänken, jede einzelne wird als „höchstwahrscheinlich in einigen Stunden sedimentiert“ interpretiert. Die physischen Bänke zeugen demnach von raschen Sedimentationsereignissen. So repräsentiere der gesamte Crinoidenkalk eine Bildungszeit von „möglicherweise nur einige Wochen, vielleicht

sogar nur Stunden“; dennoch wird der Formation aufgrund der radiometrischen Eichung und Interpolation eine Gesamtdauer von 500 000 [radiometrischen] Jahren zugewiesen (REY 1991, 22).⁴⁰ Aus solcherart Beispielen, die mehr die Regel als die Ausnahme sind (s. o. AGER), wird verallgemeinernd geschlossen, dass die Sedimentation oftmals unterbrochen und Ablagerungen nur einem Bruchteil der vergangenen Zeit entsprechen. Für das konkrete Beispiel würde es eine fortwährende, 100-malige Sedimentationsunterbrechung von durchschnittlich je etwa 5000 [radiometrischen] Jahren bedeuten; damit werden „Leerzeiten“ geschaffen. Im Ergebnis ist das so angewandte Langzeit-Altersmodell ebenso Interpretationsprinzip (Regulativ) wie der Uniformitarismus bzw. Aktualismus.

Zwischenfazit

Das „Gesamtbild“ (das „Bild“, s. o. MURAWSKI) setzt sich aus miteinander in Bezug stehenden strukturellen und inhaltlichen Elementen zusammen: „Geschriebene“ Erdgeschichte ist im Ergebnis einerseits uniformitaristisch-fiktive Konstruktion („immerwährende Gegenwart“), Langzeit-Projektion und Evolution; andererseits ist die Gesteinsüberlieferung in eine abstrakte Zeit-relative, stratigraphische Skala überführt und mit einem Langzeit-konformen Altersmodell verknüpft. Dieses „Gesamtbild“ konstituiert das geologische Weltbild.

Die erdgeschichtliche Tabelle bzw. Skala – als Verdichtung der Erdgeschichte – enthält die zwei wesentlichen A-priori-Annahmen: *geologische (Lang-) Zeit* und *(Makro-) Evolution*. Sie werden aber nicht als A-priori-Annahmen kenntlich gemacht, sondern als Tatsachen präsentiert.

Wird nun beispielhaft der Begriff Kreide verwendet, so kann es sich um das konkrete Gestein handeln, die Schreibkreide, um die Schichten (formal Formationen), die den Gesteinskörper aus (Schreib-) Kreide beschreiben (Lithostratigraphie), um das Kreide-System, einen relativen

A-priori-Annahmen werden nicht als solche kenntlich gemacht, sondern als Tatsachen präsentiert.

(Zeit-) Abschnitt, der vor dem Paläogen-System und nach dem Jura-System „liegt“, und den diesem Abschnitt zugewiesenen Gesteinskörpern, die dann definitionsgemäß zwischen diesen beiden (Zeit-) Abschnitten gebildet wurden (Chronostratigraphie), oder um die Kreide-Periode, ein geologisches Zeitintervall zwischen 145 und 66 Millionen [radiometrischen] Jahren vor heute (Geochronologie).



In diesem Sinne ist es wichtig, je nach Kontext den gewünschten Begriff zu wählen bzw. zu konkretisieren und ggf. eine Abgrenzung vorzunehmen, welchen Vorstellungen und Konzepten ganz oder in Teilen gefolgt wird und welchen nicht (s. Kasten). Dies ist aber keineswegs einfach. Wird z. B. (Makro-) Evolution abgelehnt, ist selbst die Verwendung des Begriffs Kreide-System nicht angebracht. Denn das Kreide-System als chronostratigraphische Einheit ist Gliederungsteil der gesamten chronostratigraphischen Tabelle, die mit ihren *zoikum*-Begriffen bereits Evolution „eingebaut“ hat (s. o.). Wird das radiometrische Altersmodell abgelehnt, so ist eine vermeintlich „neutrale, ungeeichte“ Verwendung des Begriffs Kreide-Periode dennoch nicht angebracht, da der Gliederung die geologische Langzeit zugrunde liegt (s. o.). Auch die Verwendung der informellen Begriffe „Kreidezeit“ oder „kreidezeitlich“ bezieht sich i. d. R. auf die Periode (geochronologisch) und meint von 145 bis 66 Millionen [radiometrischen] Jahren vor heute. In diesen Fällen ist es beispielsweise möglich, sich primär auf das konkrete Gestein zu beziehen und die lithostratigraphischen Begriffe zu verwenden (z. B. der Crinoidenkalk der Calcaire-à-entroques-Formation; s. o.). Denn Grundlage des stratigraphischen Konzepts ist der materielle Gesteinskörper (Lithostratigraphie, s. Kasten).

Erkenntnistheorie und Logik – Suche nach der Wahrheit?

Ist die Suche nach der Wahrheit das Ziel geologischer Forschung? ENGELHARDT & ZIMMERMANN (1982, 304) bejahen dies, aus erkenntnistheoretischen Überlegungen (eine Erhebung allerdings gibt es nicht): „Wahrheit“ bleibe das Ziel der

Forschung, auch wenn es keine Instanz gebe, die den theoretischen Resultaten das Siegel der Gewissheit verleihen könne. – Wahrheit aber wird in Anführungszeichen gesetzt, mit Verweis auf POPPER (1972, 47): „Wir suchen die Wahrheit, aber wir besitzen sie nicht.“

Es gilt noch einmal Uniformitarismus und Aktualismus aufzugreifen. GOULD (1990, 155) zufolge vertritt LYELL – kurz gesagt – den Standpunkt, dass die *geologische Wahrheit* durch strikte Befolgung des Uniformitarismus zu ermitteln sei. KRÖMMELBEIN (1976, 11–12) drückt es so aus: Mit dem Durchbruch aktualistischer Vorstellungen von der langsamen Umbildung der anorganischen und organischen Welt sei schließlich der Weg für eine *wirklich* historische Betrachtung der erdgeschichtlichen Vergangenheit frei geworden. So erfährt Wahrheit als Leitidee bzw. Ziel wissenschaftlicher Forschung eine *Prädisposition*; die Wahrheit ist quasi bekannt, sonst könnte ja die *einzig richtige* Methode (bzw. der *einzig richtige* Weg) zu ihrer Ermittlung nicht determiniert werden.

ONCKEN (1995, 244) stellt die Kardinalfrage: „Wie können wir etwas über die Geschichte der Erde wissen (...)“⁴¹ Seine Antwort heißt zwar auch Aktualismus, aber nur in einer Ausprägung als „methodologischer Aktualismus“.⁴² Er scheint einen Schritt weiter zu sein: Eine mögliche Wahrheitsnähe sei prüfbar. Was aber bleibt, ist Vermutungswissen – ohne Sicherheit. Nicht umsonst resümiert er: „Die geologische Forschung arbeitet ohne Netz.“

ENGELHARDT & ZIMMERMANN (1982, 367) fassen zusammen: „Geowissenschaftliche Theorien – so gewiss sie zu sein scheinen – können ebenso wenig wie die ihnen zugrunde liegenden regulativen Prinzipien ein ‚geologisches‘ Weltbild als gesicherte Abbildung der Realität in Raum und Zeit konstituieren.“ Auch sei dem Forscher

Abb. 7a Normaler Grenzpunkt des Ediacarium-Systems; Enorama Creek, Flinders Ranges, Südastralien (Nuccalleena-Formation, Wilpena-Gruppe; KNOLL et. al 2006). Der Name leitet sich von der sog. Ediacara-Fauna ab. Die Grenze ist lithologisch und geochemisch definiert: Lithologisch mit dem letzten Auftreten von Diamiktiten, die als glaziale Ablagerungen interpretiert werden.⁶²
b Ein „goldener Nagel“ („golden spike“) markiert die Basis des Systems; der Grenzpunkt liegt im untersten Teil des unmittelbar den Diamiktit überlagernden sog. Hutkarbonats („cap carbonate“).⁶³ Der Ediacarium-Grenzpunkt ist etwa 18 000 km vom Kambrium-Grenzpunkt entfernt (s. Abb. 5). Diskussion s. Textteil.
Fotos: Peter NEAUM (7a) und Bahudhara (7b); Wikimedia Commons (CC BY-SA 3.0).

in den geowissenschaftlichen Disziplinen durchaus bewusst, die Gültigkeit einer Theorie nicht definitiv „beweisen“ zu können.

Insofern entsteht ein Kommunikationsproblem, wenn „das von geowissenschaftlichen Theorien entworfene Universum der geolo-

„Die geologische Forschung arbeitet ohne Netz.“

gischen Vergangenheit oder einzelne Episoden desselben als Realität“ publiziert und verbreitet werden.⁴³ Die breite Öffentlichkeit kann diesen Transformationsprozess als solchen i. d. R. nicht differenzieren (s. u.), für sie ist das *als Realität* Publierte und Verbreitete *wirklich* Realität.

Das Machen von Fakten

Erklärung der Geologischen Gesellschaft von London

Zu dem von der UN-Generalversammlung ausgerufenen *Internationalen Jahr des Planeten Erde* (IYPE) im Jahr 2008 veröffentlichte die Geologische Gesellschaft von London⁴⁴ eine Erklärung (in Übersetzung⁴⁵):

„(...) Die Geologische Gesellschaft von London ist die älteste nationale gelehrte Gesellschaft für die Geowissenschaften in der Welt und verkörpert das kollektive Wissen von nahezu 10 000 Geowissenschaftlern weltweit. In ihrer aller Namen wünscht sie während des von den Vereinten Nationen ausgerufenen Internationalen Jahres des Planeten Erde folgende Fakten zu Protokoll zu geben, die schon lange als zweifelsfrei etabliert sind.

- Der Planet Erde wurde zusammen mit den anderen Planeten im Sonnensystem vor etwa 4560 Millionen Jahren gebildet.

- Leben existierte auf der Erde für Tausende von Millionen von Jahren. Es hat sich in seine heutige Form durch eine Kombination von genetischer Variation und natürlicher Selektion entwickelt –, und wahrscheinlich wird es auf diese Weise weitergehen, solange es fortfährt zu existieren.

- Das eingehende Studium der Struktur und der Organisation lebender Tiere und Pflanzen weist deutlich auf ihre gemeinsame Abstammung hin, und die Abfolge der Formen in der fossilen Überlieferung sowie die genetische Aufzeichnung, die in jedem lebenden Organismus enthalten ist, liefern schlagkräftige Beweise für die Realität der Evolution.“

Es wird das faktische Bestehen mehrerer Sachverhalte (die „Fakten⁴⁶“) behauptet: Die Bildung der Erde zusammen mit den anderen

Planeten des Sonnensystems vor rund 4,6 Milliarden Jahren; eine Entwicklung des Lebens in seine heutige Form (Nennung konkreter Mechanismen) und seine Existenz seit über 1 Milliarde Jahren; die Quasi-Realität der Evolution, seitdem es Leben gibt (vgl. Abb. 3 und 4).

Es wird nicht das mögliche (hypothetische) Bestehen dieser Sachverhalte behauptet – sie beruhen nämlich auf (nicht verifizierbaren) fundamentalen Annahmen und Voraussetzungen, die aber scheinbar nach allgemeinem Konsensus innerhalb der wissenschaftlichen (Geo-)

Ein Prozess in den Wissenschaften: Mutmaßungen oder Spekulationen können in Fakten transformiert werden.

Gemeinschaft nicht mehr in Zweifel gezogen werden. So werden die mitgeteilten Sachverhalte als *Tatsachen* dargestellt (vgl. ENGELHARDT & ZIMMERMANN 1982, 23–24). Dies ist wohl mit Etablierung gemeint. Die Form der *Tatsachen*-Darstellung ist also keineswegs unbeabsichtigt, sie ist bewusst gewählt.⁴⁷

Die Konstruktion wissenschaftlicher Fakten

Anhand eines von LATOUR & WOOLGAR (1986, 76–80) vorgeschlagenen Prozederes kann überprüft und gegebenenfalls nachverfolgt werden, wie aus Mutmaßungen oder Spekulationen Fakten (Tatsachen) erwachsen. Dem Prozedere liegt eine hierarchische Klassifikation wissenschaftlicher Aussagen („statements“) zugrunde⁴⁸:

Typ 1: Mutmaßungen und Spekulationen.

Typ 2: Behauptungen von Beziehungen oder Aussagen von vorläufigen Beziehungen zwischen wissenschaftlichen Tatsachen/Prozessen.

Typ 3: Aussagen, die Bezüge (Referenzen) zu früheren Arbeiten beinhalten, um eine vorgeschlagene Beziehung zu unterstützen.

Typ 4: Lehrbuchartige Aussagen von etablierten Fakten oder Beziehungen.

Typ 5: Als erwiesen angenommene Fakten, die keiner (weiteren) unterstützenden Referenz bedürfen.

Offensichtlich können die Fakten-Aussagen der Erklärung der Geologischen Gesellschaft von London als Typ-5-Aussagen klassifiziert werden. Für jede Aussage wäre nunmehr festzustellen⁴⁹, wann „Prämissen als unproblematisch produziert“ wurden und durch weitere Anwendung dieser Praktiken ein Beitrag zur „Transformation in Fakten“⁵⁰ geleistet worden ist.⁵¹

Abschließende Bemerkung

„Erdgeschichte“ ist gemacht worden. Die vermeintlich „zweifelsfrei etablierten Fakten“ haben als Tatsachen oder Quasi-Tatsachen bereits über Generationen Einzug in das staatliche Verwaltungs- (z. B. geologische Dienste) und Bildungswesen genommen und das gesellschaftliche Leben durchdrungen. Es wird sogar überlegt, ob „Erdgeschichte“ bereits in der Grundschule vermittelt werden sollte (Studie von SOLCHER 2007).

Es gilt, „Erdgeschichte“ nicht wie ein Produkt millionenfach zu kopieren und zu verbreiten, sondern ebenso die „Umstände ihrer Erschaffung“⁵² in decodierter Weise darzulegen und mitzuliefern.⁵³ Denn nur so kann die von der Geologie geschriebene „Erdgeschichte“ auch verstanden werden.

Dank: Für eine Durchsicht des Manuskripts und wertvolle Hinweise danke ich Dr. Martin ERNST, darüber hinaus Dr. Reinhard JUNKER für zahlreiche Vorschläge zur Verbesserung der Verständlichkeit.

Literatur

- AGER DV (1993) The nature of the stratigraphical record. 3rd ed., Chichester.
- BABCOCK LE, PENG S, ZHU M, XIAO S & AHLBERG P (2014) Proposed reassessment of the Cambrian GSSP. *Journal of African Earth Sciences* 98, 3–10.
- BRASIER M, COWIE J & TAYLOR M (1992) Decision on the Precambrian-Cambrian boundary stratotype. *Episodes* 17, 3–8.
- BUCKLAND W (1836) *Geology and Mineralogy Considered with Reference to Natural Theology*. Vol. 1, London.
- DARWIN C (1859) *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. London.
- DARWIN C (1872) *The Origin of Species*. 6th ed., London.
- ENGELHARDT W FRH V & ZIMMERMANN J (1982) *Theorie der Geowissenschaft*. Paderborn, München, Wien, Zürich.
- Geological Society of London (2008) „Young Earth Creationism“, „Creation Science“ and „Intelligent Design“. <http://www.geolsoc.org.uk/creationism>; Zugriff 18. 5. 2016.
- GOULD SJ (1990) Die Entdeckung der Tiefenzeit. *Zeitpfeil oder Zeitzyklus in der Geschichte unserer Erde*. München, Wien.
- GRADSTEIN FM, OGG JG, SCHMITZ MD & OGG GM (eds) (2012) *The Geologic Time Scale 2012*. Volume 1/2, Oxford Amsterdam.
- HUTTON J (1788) *Theory of the Earth; or an Investigation of the Laws Observable in the Composition, Dissolution, and Restoration of Land upon the Globe*. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 1(2), 209–304.
- KNOLL AH, WALTER MR, NARBONNE GM & CHRISTIE-BLICK N (2006) The Ediacaran Period: a new addition to the geologic time scale. *Lethaia* 39, 13–30.
- KOTULLA M (2014a) Gültigkeit und Grenzen geologischer Zeitbestimmung. Online-Loseblattsammlung, Stand: 1. Ergänzungslieferung 03/2014; <http://www.wort-und-wissen.de/loseblattsammlung.html>.
- KOTULLA M (2014b) Megafluten. *Stud. Integr. J.* 21, 4–11.
- KOTULLA M (2015) *Geologie und Genesis: Ursprung und Popularisierung früher Harmonisierungsversuche*. *Stud. Integr. J.* 22, 68–78.
- KOTULLA M (2016) Der explosive Ausbruch des Laacher-See-Vulkans. *Stud. Integr. J.* 23, 111–116.
- KRÖMMELBEIN K (1976) *Brinkmanns Abriß der Geologie*. Zweiter Band: Historische Geologie. 10./11. Auflage, Stuttgart.
- LATOUR B & WOOLGAR S (1986) *Laboratory Life: The Construction of Scientific Knowledge*. 2nd ed., Princeton, NJ.
- LOTZE R (1922) *Jahreszahlen der Erdgeschichte*. Stuttgart.
- LOTZE F (1968) *Geologie*. Sammlung Götschen Band 13/13a, Berlin.
- LYELL C (1830–33) *Principles of Geology. Being an Attempt to Explain the Former Changes of the Earth's Surface by Reference to Cause Now in Operation*. London.
- LYELL C (1867–68) *Principles of Geology*. 2 vols., 10th ed., London.
- MURAWSKI H (1977) *Geologisches Wörterbuch*. Stuttgart.
- ONCKEN O (1995) Der Aktualismus oder Geologie ohne Netz. [The principle of uniformitarianism of geology without a net]. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 198, 243–274.
- PALIJ VM & POSTI E & FEDONKIN MA (1979) Soft-bodied Metazoa and trace fossils of Vendian and Lower Cambrian. In: URBANCK A & ROZANOV AY (eds) *Upper Precambrian and Cambrian Paleontology of East-European Platform*, 49–82.
- POPPER K (1972) *Objective knowledge*. Oxford.
- REY J (1991) *Geologische Altersbestimmung. Biostratigraphie, Lithostratigraphie, absolute Datierung*. Übersetzt und überarbeitet von W. Riegraf und C. Schmitt-Riegraf, Stuttgart.
- RUST J (2011) *Fossilien – Meilensteine der Evolution*. Darmstadt.
- SALVADOR A (1994) (ed) *International Stratigraphic Guide*. 2nd ed.
- SOLCHER J (2007) *Erdgeschichte in der Grundschule? Neue Themen und Wege für den Sachunterricht*. Diss., Hamburg.
- STEININGER FF & PILLER WE (1999) (Hg) *Empfehlungen (Richtlinien) zur Handhabung der stratigraphischen Nomenklatur*. *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg* 209, 1–19.
- UNGER F (1851?) *Die Urwelt in ihren verschiedenen Bildungsperioden*. 14 landschaftliche Darstellungen mit erläuternden Texten.
- WHEWELL W (1832) *Lyell's Principles of Geology*, Volume 2. *Quarterly Review*, 103–132.
- WHEWELL W (1837) *History of inductive sciences. From the earliest to the present times*. Vol. 3, London.

Anschrift des Verfassers:

Michael Kotulla, SG Wort und Wissen,
Rosenbergweg 29, 72270 Baiersbrunn;
E-mail: m.kotulla@wort-und-wissen.de

Hand und Werkzeugverhalten früher Homininen

Erlauben Knochenmerkmale klare Schlussfolgerungen? Das Mondbein des Menschen als lehrreiches Beispiel

Die Annahme, dass frühe Homininen Steinwerkzeuge nutzen und herstellen konnten, wird in der Paläanthropologie als Argument für eine menschliche Vorfahrenschaft gewertet. Diese Fähigkeiten werden von Handknochenmerkmalen abgeleitet. Das Mondbein des Menschen demonstriert eindrucksvoll, dass solche funktionellen Schlüsse sehr spekulativ sind.

Michael Brandt

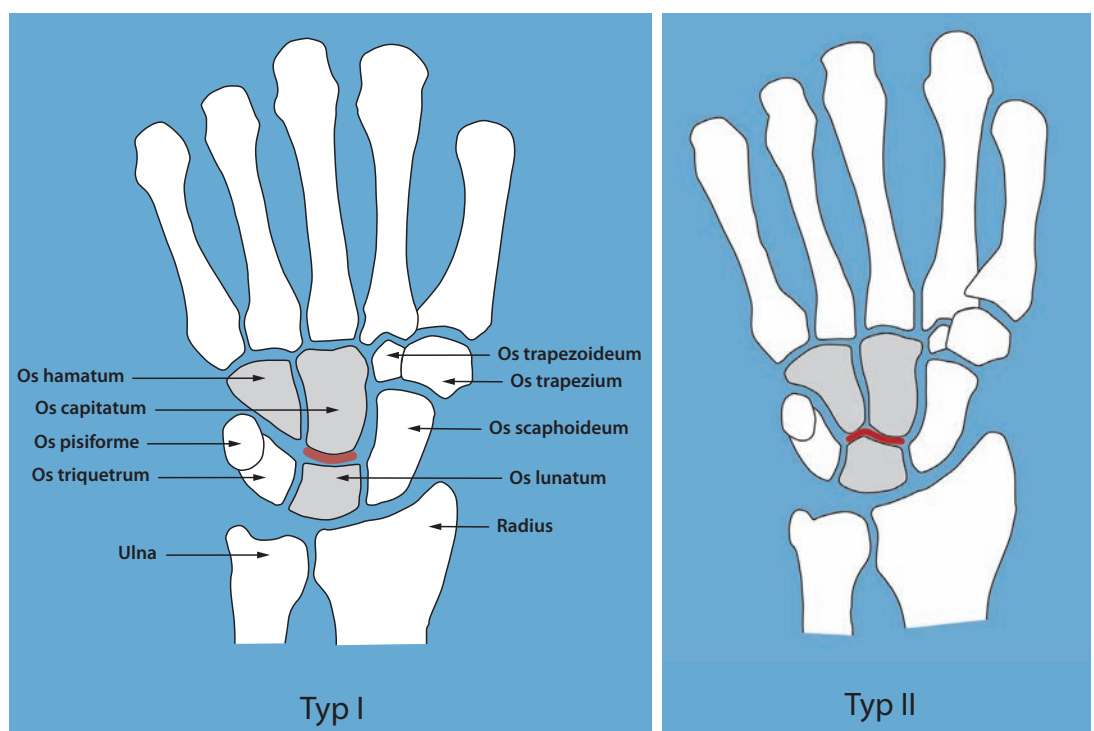
Abb. 1 Das Os lunatum mit den Formvarianten Typ I und II.

Beim Typ I des Os lunatum existiert nur eine distale konkave Gelenkfläche für die Artikulation* mit dem Os capitatum. Mit diesem Typ des Os lunatum ist ein Os capitatum und Os hamatum assoziiert, deren proximale Enden zusammen eine leichte Krümmung bilden, die nur durch das Os-capitatum-Os-hamatum-Gelenk unterbrochen ist. Bei diesem Gelenktyp bildet das Os-capitatum-Os-hamatum-Gelenk eine Linie mit dem Os-lunatum-Os-triquetrum-Gelenk. Beim Typ II artikuliert das Os lunatum hauptsächlich mit dem Os capitatum, bildet aber auch distal ein zweites separates Gelenk mit dem Os hamatum. Der proximale Pol des Os hamatum erstreckt sich dabei nach proximal über die Krümmung des proximalen Poles des Os capitatum hinaus. Die Gelenkflächen auf Os capitatum und Os hamatum für die Artikulation mit dem Os lunatum liegen in ihrem Kontaktbereich einem vom Os lunatum gebildeten Grat gegenüber. Dieser Grat wird durch den Kontakt der beiden gegeneinander abgewinkelten Gelenkflächen für das Os capitatum und das Os hamatum auf dem Os lunatum gebildet (VIEGAS 1992).

In der Paläanthropologie wird allgemein angenommen, dass man von Knochenüberresten weitgehend auf die Funktion der Hand und damit auf mögliches Werkzeugverhalten früher Homininen* schließen kann. So werden beispielsweise einige menschenähnliche Merkmale der Hand von *Australopithecus sediba* (KIVELL et al. 2011) und *Homo naledi* (KIVELL et al. 2015) als Hinweise auf eine potenzielle Fähigkeit der Nutzung und Herstellung von Steinwerkzeugen bei diesen frühen Homininen interpretiert und als ein Argument für deren menschliche Vorfahrenschaft gewertet. Sind solche weitreichenden

Schlüsse basierend allein auf Knochenmerkmalen gerechtfertigt? Eine neuere kinematische Untersuchung der menschlichen Hand in Beziehung zur Morphologie* des Os lunatums* (Mondbeines) lässt daran stark zweifeln.

Das Os lunatum ist ein Knochen der proximalen (körpernahen) Handwurzelreihe. Es hat eine halbmondförmige Form und ist dorsal (hinten) und lateral (seitlich) keilförmig konfiguriert. Es variiert deutlich in der Form (WATSON et al. 1996, GUPTA & AL-MOOSAWI 2002, VAN DE GIESSEN et al. 2010), wobei zwei Formvarianten (Abb. 1) ein besonderes wissenschaftliches In-



teresse erfahren haben. Diese beiden Varianten werden als Typ I und Typ II bezeichnet.

Beim Typ I existiert nur eine distale* konkave Gelenkfläche für die Artikulation* mit dem Os capitatum*. Beim Typ II artikuliert das Os lunatum distal hauptsächlich mit dem Os capitatum, bildet aber distomedial* ein zweites separates Gelenk mit dem Os hamatum*. Die Ausdehnung der zweiten Gelenkfläche für die Artikulation mit dem Os hamatum variiert zwischen 1 und 6 mm (VIEGAS 1992). Die Häufigkeit von Typ I wird mit 27% bis 34,5% und von Typ II mit 65,5% bis 73% in der Literatur angegeben (VIEGAS 2001).

BRAIN et al. (2015) haben eine interessante Untersuchung vorgelegt, in der sie Zusammenhänge zwischen den beiden Formvarianten des Os lunatum und dem Bewegungsmuster der Handwurzel beim Menschen aufdeckten. Die Autoren analysierten an acht Handwurzeln (jeweils vier von Typ I und Typ II) von Leichen sechs Freiheitsgrade der Bewegung bei Beugung-Streckung (jeweils 15°) und radioulnarer* Deviation (Abwinklung) (jeweils 20°). Die Untersuchung wurde mit einer mechanischen Vorrichtung, der sogenannten Stewart-Plattform, durchgeführt. Damit können Bewegungen in sechs Freiheitsgraden mit hoher Genauigkeit gemessen werden. Das System wurde speziell für biomechanische Tests entwickelt. Man hat damit die Möglichkeit, Objekte in physiologischer Weise zu bewegen.

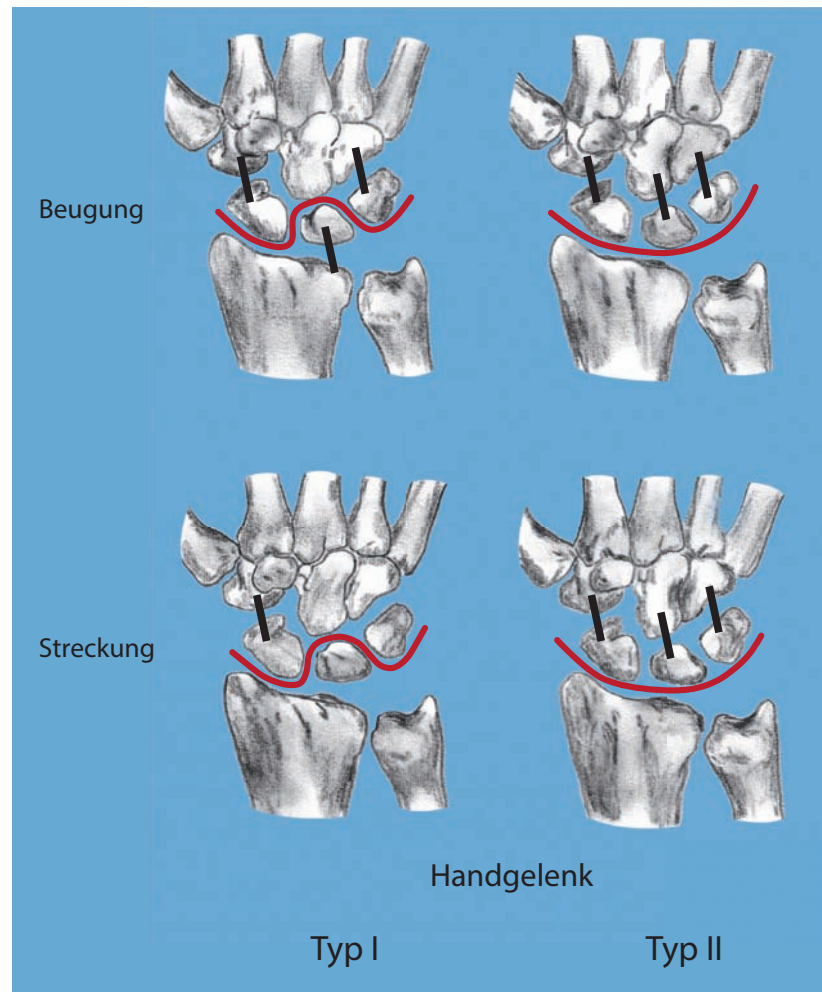
BRAIN et al. (2015) haben signifikante Bewegungsunterschiede zwischen Typ I und II bei Beugung-Streckung im radiocarpalen und midcarpalen* Gelenk festgestellt, wobei davon auch die einzelnen Gelenksäulen (radial, zentral, ulnar) betroffen waren (Abb. 2).

Bei Typ I war die Bewegung teils in den midcarpalen und teils in den radiocarpalen* Gelenken eingeschränkt, wobei die bewegungseingeschränkten Gelenke in der radialen*, zentralen und ulnaren* Säule bei Beugung und Streckung wechselten.

Bei Typ II war bei Beugung und Streckung die Bewegung des midcarpalen Gelenkes in allen drei Säulen eingeschränkt.

Im Gegensatz zur Beugung-Streckung zeigten Typ I und II bei radioulnarer Deviation keine Unterschiede in der Beweglichkeit des radiocarpalen und midcarpalen Gelenkes in allen drei Säulen. Die Beweglichkeit der radiocarpalen und mediocarpalen Gelenke war aber bei ulnarer und radialer Deviation verschieden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass nach den Ergebnissen von BRAIN et al. (2015) die Morphologie des Os lunatum bei Beugung-Streckung des Handgelenkes den Beitrag des radiocarpalen und midcarpalen Gelenkes zur Bewegung in der radialen, zentralen und ulnaren Säule bestimmt, während bei radioulnarer



Deviation der Beitrag der Bewegung im radiocarpalen und midcarpalen Gelenk nur durch die Neigungsrichtung des Handgelenkes nach radial oder ulnar bestimmt wird.

BRAIN et al. (2015) fragen nach der Ursache für die geringe midcarpale Bewegung bei Typ II bei Beugung-Streckung und bieten mehrere mögliche Erklärungen an.

Falls die zusätzliche Gelenkfläche für das Os hamatum bei Typ II des Os lunatum nicht in der Bewegungsebene des Handgelenkes liegt, dann ist es nach BRAIN et al. (2015) wahrscheinlich, dass das Os-lunatum-Os-hamatum-Gelenk als Verschlussmechanismus und somit einschränkend auf die Beweglichkeit der Handwurzel in der Bewegungsebene wirkt.

Auch die Bandanatomie kann die Bewegung einschränken. NAKAMURA et al. (2001) haben nachgewiesen, dass das Ligamentum triquetro-capitatum* fast nur beim Typ II des Os lunatum vorkommt. Dies lässt vermuten, dass die unterschiedliche Bandanatomie die Bewegung der Handwurzel beeinflusst.

BRAIN et al. (2015) haben Unterschiede zwischen Typ I und II in Bezug auf Bewegung innerhalb und außerhalb der Bewegungsebene des Handgelenkes nachweisen können. Bewegungen außerhalb der Ebene sind beim Typ II größer. Bewegungen in der Ebene sind dagegen

Abb. 2 Das Handgelenk bei Beugung (15°) und Streckung (15°) in der Bewegungsebene. Die rote Linie weist auf die gut bewegten Gelenke ($\geq 50\%$). Die schwarzen Balken weisen auf die wenig bewegten Gelenke ($< 4^\circ$). Der Typ des Os lunatum bestimmt die gut bewegten und die wenig bewegten Gelenke. Bei Typ I wechseln bei Beugung-Streckung die gut bewegten Gelenke zwischen den radiocarpalen und midcarpalen Gelenken. Bei Typ II sind bei Beugung und Streckung die midcarpalen Gelenke wenig und die radiocarpalen Gelenke gut bewegt (nach BRAIN et al. 2015).

Glossar

Artikulation: Gelenkverbindung.

distal: von der Körpermitte entfernt

distomedial: vom Körpermittelpunkt entfernt und zur Körpermitte hin.

Homininen: Menschenähnliche; damit werden alle fossilen und lebenden Menschenformen einschließlich ihrer im Evolutionsmodell vermuteten Vorläufer bezeichnet.

ligamentär: die Bänder betreffend.

Ligamentum triquetrocipitatum: hohlhandseitiges Handwurzelknochenband; verläuft vom Os triquetrum über die Spitze des Os hamatum zum Os capitatum.

midcarpal: interkarpal, zwischen der distalen und proximalen Handwurzelknochenreihe.

Morphologie: Lehre von der Gestalt der Lebewesen.

Os capitatum: Kopfbein; gehört der körperfernen Reihe der Handwurzelknochen an.

Os hamatum: Hakenbein; Handwurzelknochen der körperfernen Reihe. Seinen Namen verdankt es einem hakenförmigen Knochenvorsprung der Hohlhandseite.

Os lunatum: Mondbein; Handwurzelknochen der körpernahen Reihe. Seinen Namen verdankt es seiner in etwa halbmondförmigen Gestalt.

radial: auf der der Speiche zugewandten Seite gelegen

radioulnar: von der Seite der Speiche zur Seite der Elle

radiocarpal: zwischen der Speiche und den körpernahen Handwurzelknochen

ulnar: auf der der Elle zugewandten Seite gelegen

beim Typ I größer. BRAIN et al. (2015) vermuten, dass dafür Unterschiede in der Bandanatomie verantwortlich sind. Wenn sich das Handgelenk bei Typ II entlang seines Bewegungsbogens bewegt, straffen sich die Bänder und rufen dadurch eine Bewegung der Handwurzel außerhalb der Bewegungsebene hervor.

Konsequenzen

Die Untersuchungsergebnisse von BRAIN et al. (2015) sind überraschend und fordern zu einem kritischen Überdenken der gängigen paläanthropologischen Praxis, nach der man von Knochenmerkmalen auf die Handfunktion früher Homininen schließt.

Es ist erstaunlich, dass das Os lunatum des modernen Menschen eine so variable Gelenkmorphologie besitzt und dass diese (bei Beugung-Streckung) mit einem verschiedenen Bewegungsmuster einer ganzen Handregion (radiale, zentrale und ulnare Säule des radiocarpalen und midcarpalen Gelenkes) einhergeht. Es ist weiterhin bemerkenswert, dass über ein – wenn auch sehr kleines – Handwurzelgelenk (Os-lunatum-Os-hamatum-Gelenk) des modernen Menschen kein gesichertes Wissen existiert und deshalb nur Vermutungen über die Bewegungsebene dieses Gelenkes angestellt werden können. Für unsere Ausgangsfragestellung ebenfalls relevant ist die Tatsache, dass die mit der

unterschiedlichen Morphologie des Os lunatum einhergehenden radiocarpalen und midcarpalen Bewegungsmuster nicht vorhersagbar waren und auch im Nachhinein nur Vermutungen (Gelenktopografie, Bandanatomie) als mögliche Erklärungen der funktionellen Ergebnisse aufgestellt werden können.

Die Funktion der Hand kann nicht allein von den Knochen abgeleitet werden.

Wahrscheinlich spielen mit den beiden Os-lunatum-Typen einhergehende Unterschiede in der Bandstruktur eine größere Rolle als Ursache der zwei verschiedenen Bewegungsmuster als die morphologischen Unterschiede des Os lunatum selbst. Die unterschiedlichen ligamentären* Strukturen sind von der Knochenmorphologie nicht abzuleiten.

Aus diesen Befunden ergibt sich, dass die Funktion der Hand nicht allein von den Knochen abgeleitet werden kann. Aussagen zum Werkzeugverhalten früher Homininen auf der Basis von Handknochen mit unbekannten Merkmalsmosaik sind deshalb sehr spekulativ.

Literatur

- BRAIN GI, CLITHEROW HDS, MILLAR S, FRAYSSE F, COSTI JJ, ENG K, MCGUIRE DT & THEWLIS D (2015) The effect of lunate morphology on the 3-dimensional kinematics of the carpus. *Journal of Hand Surgery* 40, 81–89.e1.
- GUPTA A & AL-MOOSAWI NM (2002) Lunate morphology. *Journal of Biomechanics* 35, 1451–1457.
- KIVELL TL, KIBII JM, CHURCHILL SE, SCHMID P & BERGER LR (2011) *Australopithecus sediba* hand demonstrates mosaic evolution of locomotor and manipulative abilities. *Science* 333, 1411–1417.
- KIVELL TL, DEANE AS, TOCHERI MW, ORR CM, SCHMID P, HAWKS J, BERGER LR & CHURCHILL SE (2015) The hand of *Homo naledi*. *Nature Communications* 6, 8431.
- NAKAMURA K, PATTERSON RM, MORITOMO H & VIEGAS SF (2001) Type I versus type II lunates: ligament anatomy and presence of arthrosis. *Journal of Hand Surgery* 26, 428–436.
- VAN DE GIESSEN M, FOUMANI M, STREEKSTRA GJ, STRACKEE SD, MAAS M, VAN VLIET LJ, GRIMBERGEN KA & VOS FM (2010) Statistical descriptions of scaphoid and lunate shapes. *Journal of Biomechanics* 43, 1463–1469.
- VIEGAS SF (1992) Midcarpal arthroscopy: anatomy and technique. *Arthroscopy: The Journal of the Arthroscopic and Related Surgery* 8, 385–390.
- VIEGAS SF (2001) Advances in the skeletal anatomy of the wrist. *Hand Clinics* 17, 1–11.
- WATSON HK, YASUDA M & GUIDERA PM (1996) Lateral lunate morphology: an X-ray study. *Journal of Hand Surgery* 21A, 759–763.

Urmensch *Homo erectus* konnte doch sprechen

Konnte der älteste unbestritten echte fossile Mensch, *Homo erectus*, sprechen? Von manchen Forschern wird das bestritten, womit *Homo erectus* gar kein echter Mensch, sondern ein Wesen zwischen Großaffe und Mensch gewesen wäre. Eine neue Untersuchung der Spinalkanalmorphologie des Jungen von Nariokotome und eines weiteren juvenilen *Homo-erectus*-Individuums von Dmanisi zeigt jedoch, dass nicht auf das Fehlen einer Lautsprache geschlossen werden kann. In Verbindung mit weiteren anatomischen Merkmalen und archäologischen Hinterlassenschaften ist der Schluss gerechtfertigt, dass *Homo erectus* ein echter Mensch mit geistigen Fähigkeiten ähnlich denen des modernen Menschen war.

Michael Brandt

Einleitung

Der unbestritten älteste fossile echte Mensch ist *Homo erectus*. Der Status von *Homo erectus* als echter Mensch bedeutet aber nicht, dass ihm in der Paläanthropologie auch in allen Belangen geistige Fähigkeiten zugestanden werden, die denen des modernen Menschen vergleichbar sind (SCHICK & TOTH 1993, STRINGER & MCKIE 1996). Trotz der angenommenen eingeschränkten kognitiven Fähigkeiten von *Homo erectus* überraschte doch das Ergebnis einer Studie von MACLARNON & HEWITT (1999, 341), nach der dieser „nur zu kurzen unmodulierten Äußerungen wie die nichtmenschlichen Primaten fähig war“ und nicht über eine gesprochene Sprache verfügte. Mit dem Fehlen einer gesprochenen Sprache wäre der Urmensch *Homo erectus* gar kein echter Mensch gewesen, sondern ein Wesen zwischen Großaffe und Mensch.

In einer neuen Studie widersprechen MEYER & HAEUSLER (2015) der Behauptung von MACLARNON & HEWITT (1999). Dabei untersuchten die Autoren nicht nur den *Homo-erectus*-Fund KNM-WT 15000, auf dem die Schlussfolgerung von MACLARNON & HEWITT (1999) basiert, sondern es wurden auch fossile Überreste eines weiteren *Homo-erectus*-Individuums analysiert. Vor der Darstellung der neuen Studie und der sich daraus ergebenden Konsequenzen wird zunächst jedoch dargelegt, wie MACLARNON & HEWITT (1999) zu ihrem Ergebnis kamen.

Der „sprachlose“ Junge von Nariokotome

Im Mittelpunkt der Untersuchung von MACLARNON & HEWITT (1999) stand das vollständigste jemals entdeckte frühe Homininen-

skelett KNM-WT 15000. Es handelt sich um die Überreste eines jugendlichen *Homo-erectus*-Individuums, die bei Nariokotome (West Lake Turkana, Kenia) entdeckt wurden. KNM-WT 15000 wurde radiometrisch auf 1,6 Millionen Jahre datiert (WALKER & LEAKEY 1993).

Bei diesem Fund sind vom letzten Halswirbel bis zum letzten Kreuzbeinwirbel beinahe alle Wirbel erhalten. Die Wirbelsäule zeigt insgesamt eine unbestritten modern menschliche Morphologie¹ (MEYER & HAEUSLER 2015). Allerdings wurde der Spinalkanal (Wirbelsäulenkanal) von KNM-WT 15000 seit der Entdeckung kontrovers diskutiert, wobei die Weite des Kanals im Mittelpunkt der Diskussion steht.

Der Spinalkanal des modernen Menschen ist gegenüber dem der Großaffen weiter. Diese größere Weite stellt eine Anpassung an das breitere menschliche Rückenmark dar. Die nichtmenschlichen Primaten besitzen dagegen nur ein schmales Rückenmark im Brustwirbelbereich. Das stärker ausgebildete thorakale, d.h. im Brustwirbelsäulenbereich gelegene, Rückenmark des Menschen wird aufgrund großer Vorderhörner, die motorische Neuronen enthalten, in Beziehung zu einer verbesserten Atemkoordination gebracht. Dies führt zu einer verbesserten Nervenversorgung der Zwischenrippen- und Bauchwandmuskeln, die an der präzisen motorischen Kontrolle der Atmung beteiligt sind. Weil die gesprochene Sprache aber lange komplex modulierte Äußerungen beinhaltet, wurde eine bessere Nervenversorgung der Zwischenrippen- und Bauchwandmuskeln im Vergleich mit der Versorgung bei den nichtmenschlichen Primaten als notwendige Bedingung der menschlichen Sprache angesehen (MACLARNON & HEWITT 1999).

BROWN et al. (1985) beschrieben im ersten Bericht über das Skelett von Nariokotome einen

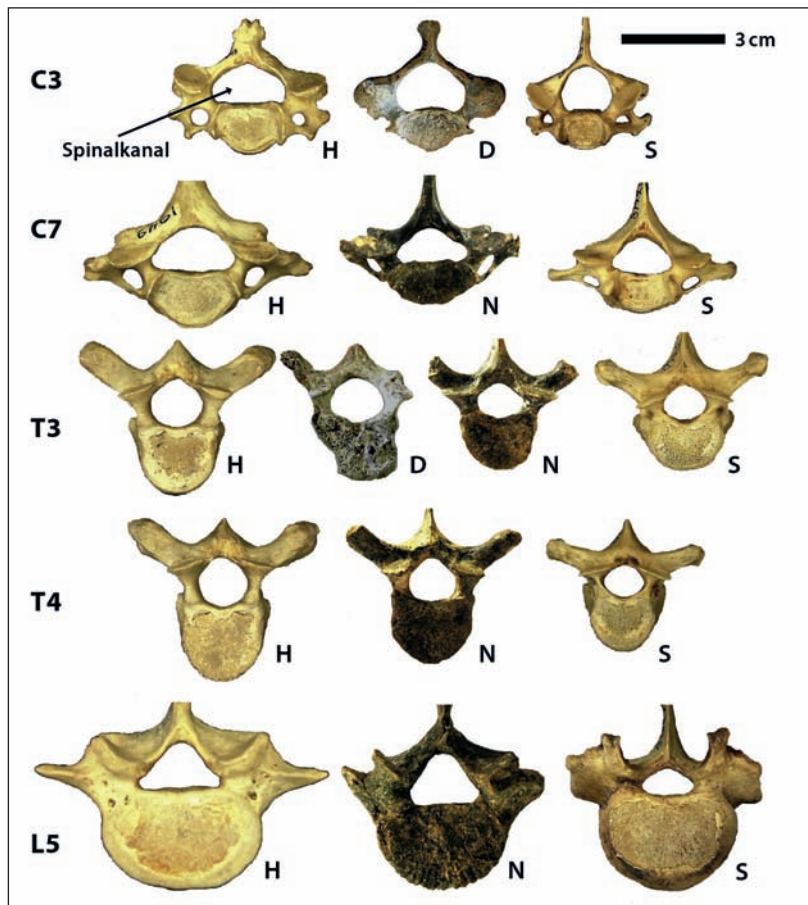


Abb. 1 Ausgewählte Wirbel des *Homo erectus* von Dmanisi (D) und Nariokotome (N), des Schimpansen (S) und des modernen *Homo sapiens* (H). Der Spinalkanal von Dmanisi ist menschenähnlich. Der Spinalkanal von Nariokotome ist mit Ausnahme von drei Höhen (hier illustriert durch C7 und T3) menschenähnlich. (Aus MEYER & HAEUSLER 2015)

schmalen Spinalkanal im Vergleich zum modernen Menschen. MACLARNON & HEWITT (1999) schlossen von einem engen Spinalkanal auf ein schmales Rückenmark und von diesem auf eine geringere feinmotorische Kontrolle der Zwischenrippen- und Bauchwandmuskeln. Deshalb habe der Junge von Nariokotome nicht über eine gesprochene Sprache wie der Mensch verfügt.

Es wurde aber von anderen Forschern vermutet, dass der Junge von Nariokotome an einer mysteriösen angeborenen Skelettdysplasie einschließlich einer Spinalkanalstenose (Verengung des Wirbelsäulenkanals) litt. Deshalb seien Schlüsse zur Biologie und zum Verhalten von *Homo erectus*, die auf KNM-WT 15000 basieren, irreführend (LATIMER & OHMAN 2001, OHMAN et al. 2002). Diese Deutung wurde jedoch zurückgewiesen und argumentiert, dass es sich bei KNM-WT 15000 um eine Normvariante von *Homo erectus* handle (SCHIESS & HAEUSLER 2013, SCHIESS et al. 2006, 2014).

Homo erectus mit menschlichem Spinalkanal

Die Entdeckung eines axialen Skelettes in Verbindung mit dem subadulten *Homo-erectus*-Schädel D2700 von Dmanisi (Georgien) erlaubte eine erneute Überprüfung der These, nach der *Homo erectus* einen menschenunähnlichen engen Spinalkanal besaß.

Die Individuen von Nariokotome und Dmanisi hatten ein ähnliches Individual-Alter zum Zeitpunkt ihres Todes: Nariokotome besitzt ein Skelettalter von 13,5-15 Jahren und ein Zahnalter von 8-9 Jahren und Dmanisi D2700 ein Skelettalter von 14-17 Jahren und ein Zahnalter von 11-13 Jahren auf Grundlage von Daten moderner Menschen. Das jugendliche Individuum von Dmanisi ist mit 141 cm etwas kleiner und mit 41 kg etwas leichter als der Junge von Nariokotome mit 157 cm Größe und einem Gewicht von 48 kg. Die Wirbel des Menschen von Dmanisi sind mit 1,8 Millionen radiometrischen Jahren etwas älter als die von Nariokotome mit 1,6 Millionen Jahren (MEYER & HAEUSLER 2015²).

MEYER & HAEUSLER (2015) verglichen den Spinalkanal der beiden *Homo-erectus*-Funde³ mit dem des Schimpansen, des modernen Menschen, der Australopithecinen und früher fossiler Menschen (Abb. 1).

Der Wirbelsäulenkanal der Australopithecinen ist in Größe und Struktur überwiegend schimpansenähnlich und damit dem des modernen Menschen unähnlich.

Der Spinalkanal von *Homo erectus* von Dmanisi ist dagegen in allen Höhen, in Größe und Form menschenähnlich strukturiert.

Der Wirbelsäulenkanal von Nariokotome weicht von dem von Dmanisi etwas ab. Nariokotome besitzt einen überwiegend menschlich strukturierten Spinalkanal. In drei Höhen finden sich jedoch Ausnahmen. Der Spinalkanal ist im Bereich des siebten Halswirbels (C7), der als einziger Halswirbel erhalten ist, und des zweiten und dritten Brustwirbels (T2, T3) bei acht erhaltenen Wirbeln im thorakalen Bereich signifikant schmäler als beim modernen Menschen. Wie kann diese Abweichung von den modern-menschlichen Verhältnissen gedeutet werden? MEYER & HAEUSLER (2015) haben dazu einige Überlegungen angestellt.

Der Homo-erectus-Junge von Nariokotome besitzt mit Ausnahme von C7, T2 und T3 eine Wirbelsäulenkanalweite, die im Variationsbereich des modernen Menschen liegt.

Eine Spinalkanalweite, die mehr als zwei Standardabweichungen geringer ist als beim Durchschnitt des modernen Menschen, rechtfertigt die Diagnose einer Spinalkanalstenose. Bei einer angeborenen Spinalkanalstenose sind aber typischerweise mehrere aneinandergrenzende Wirbel oder die ganze Wirbelsäule in die Stenose einbezogen. Diese Verhältnisse finden sich aber nicht an der Wirbelsäule von KNM-WT 15000, bei der T1 und T4, die an die stenotischen Wir-

bel T2 und T3 angrenzen, nicht eingengt sind. Nichtsdestotrotz kann bei einem Menschen eine angeborene oder erworbene Spinalkanalstenose vorliegen, bei dem nur ein oder wenige Wirbel von einer Stenose betroffen sind, ohne dass er Beschwerden hat. Die Stenose tritt dort üblicherweise im Bereich der unteren Halswirbelsäule/oberen Brustwirbelsäule oder im Lendenwirbelsäulenbereich auf. Bei Menschen mit solchen kurzstreckigen Wirbelkanaleinengungen treten nur dann Beschwerden auf, wenn der Spinalkanal durch degenerativ bedingte Knochenanbauten (Osteophyten), eine Verdickung des Ligamentum flavum oder Wirbelverschiebungen eingengt wird oder wenn die Halswirbelsäule ein Trauma erlitten hat (MEYER & HAEUSLER 2015).

Wirbelsäulenkanal und Sprachfähigkeit

Die Spinalkanaleinengung in Höhe des zweiten und dritten Brustwirbels hat wahrscheinlich keine Beziehung zur Sprachfähigkeit, ungeachtet dessen, dass das Rückenmark in dieser Höhe zur Nervenversorgung der Brustkorbmuskulatur beiträgt. Im Gegensatz zu der Behauptung von MACLARNON & HEWITT (1999) sind die Thoraxmuskeln bei der Ausübung der Sprache nicht primär aktiv. Klinische Erfahrungen und Befunde zeigen, dass bei Patienten mit völligem Verlust der Zwischenrippen- und Bauchwandmuskelfunktion infolge einer Verletzung des thorakalen Rückenmarkes die Sprache einschließlich der präzisen Kontrolle des Sprechens und Singens erhalten ist. Obwohl diese Patienten in der Regel eine verminderte Atemkapazität haben, ist bei ihnen nur eine vernachlässigbare Einschränkung der Sprachqualität mit dem Verlust von nur 1 % der phonetischen Verständlichkeit nachweisbar. Die Komplexität und Integrität ihrer Stimmbildung bleibt bei diesen Patienten erhalten, weil das Nervensystem, welches die vokalbildenden Strukturen (z. B. Mund, Zunge, Larynx und Zwerchfell) innerviert, oberhalb des thorakalen Rückenmarkes im cranialen und zervikalen Bereich lokalisiert ist (MEYER & HAEUSLER 2015).

Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Untersuchung von MEYER & HAEUSLER (2015) hat gezeigt, dass der Wirbelsäulenkanal von *Homo erectus* weiter ist als der des Schimpansen und der von *Australopithecus*. Die erhaltenen Halswirbel von *Homo antecessor* (C7) und *Homo heidelbergensis* (C3) aus Sima de los Huesos (Spanien) weisen auf eine zervikale Spinalkanalweite hin, die gleich groß oder sogar größer ist als die des modernen Menschen. Die Analyse

von MEYER & HAEUSLER (2015) hat aber auch ergeben, dass die Spinalkanalweite des *Homo erectus* von Nariokotome zwar überwiegend im menschlichen Variationsbereich liegt, in drei Höhen (C7, T2, T3) aber signifikant schmaler als beim modernen Menschen ist. Die Ursache für die teilweise Spinalkanalenge des *Homo erectus* von Nariokotome ist nicht ganz klar. Da aber der ältere *Homo erectus* von Dmanisi einen in allen Aspekten modern menschlichen Spinalkanal besitzt, kann von den Verhältnissen des Nariokotome-Teilskeletts nicht auf eine evolutionär intermediäre Spinalkanalausprägung bei der Spezies *Homo erectus* geschlossen werden.

Der früheste fossil echte Mensch *Homo erectus* verfügte wahrscheinlich über potenzielle Fähigkeiten, die denen des modernen Menschen vergleichbar sind.

Die Untersuchungsergebnisse des Spinalkanals der Teilskelette von Dmanisi und Nariokotome von MEYER & HAEUSLER (2015) widersprechen der Behauptung von MACLARNON & HEWITT (1999), dass *Homo erectus* ein schimpansenähnlich schmales thorakales Rückenmark besaß und deshalb zu einer gesprochenen Sprache nicht fähig war. Allerdings haben MEYER & HAEUSLER (2015) auch nachgewiesen, dass die Funktion des thorakalen Rückenmarks die Sprachausübung gar nicht beeinflusst. An dieser Stelle muss aber vor dem Versuch gewarnt werden, von einfachen anatomischen Parametern wie der Spinalkanalgröße über mehrere weitestgehend spekulative Zwischenglieder Schlüsse zu ziehen auf komplexe Leistungen wie die Sprache, der zahlreiche neuronale und muskuläre Strukturen im Bereich des Kopfes und des Körpers zugrunde liegen. Solche einfachen anatomisch-funktionellen Zusammenhänge sind in der Regel empirisch nicht belegt. Leider sind kurzschlussige Deutungen dieser Art in der Paläanthropologie keine Seltenheit. Auch MEYER & HAEUSLER (2015) liefern dafür ein Beispiel.

MEYER & HAEUSLER (2015) vermuten, dass der frühe *Homo erectus* wegen seines menschenähnlich weiten Kanals der Hals- und Brustwirbelsäule wahrscheinlich eine postcraniale⁴ neurologische Ausstattung mit einem ähnlichen neurologischen Potenzial für die oberen Extremitäten (Werfen, Werkzeugverhalten) wie das des modernen Menschen hatte. Dieser Schluss allein auf Grund der Struktur des knöchernen Spinalkanals ist doch sehr gewagt. Allerdings weisen andere anatomische Merkmale (JOORDENS et al. 2014, BRANDT 2015a) und archäologische Hinterlassenschaften (BRANDT 2000, 2015b)

auf Fähigkeiten der oberen Extremitäten und potenzielle kognitive Leistungen von *Homo erectus* hin, die denen des modernen Menschen vergleichbar sind.

Anmerkungen

- ¹ Die Morphologie ist die Lehre von der Form, Gestalt und Struktur. In der Medizin bezeichnet der Begriff die Beschreibung der äußeren Gestalt lebender Organismen oder ihrer Bestandteile.
- ² Den Ausführungen von MEYER & HAEUSLER (2015) liegen zahlreiche Fachpublikationen zugrunde, die in dieser Arbeit nur zu einem kleinen Teil referiert sind. Wegen weiterführender bibliografischer Angaben wird deshalb der interessierte Leser auf das Literaturverzeichnis von MEYER & HAEUSLER (2015) verwiesen.
- ³ Von Dmanisi sind C3, T3, T11 und L2 und von Nariokotome C7, T1-4, T6, T7, T11, T12 und L2-L5 erhalten (MEYER & HAEUSLER 2015).
- ⁴ Körperstamm und Extremitäten betreffend

Literatur

- BRANDT M (2000) Gehirn – Sprache – Artefakte. Holzgerlingen.
- BRANDT M (2015a) Frühmensch ein „Missing Link“? Die Schulter von *Homo erectus*. http://www.wort-und-wissen.de/artikel/sp/b-15-1_fruehmensch_ein_missing_link.pdf (Zugriff am 13. 3. 2016).
- BRANDT M (2015b) Wie alt ist die Menschheit? 5., erw. Aufl., Holzgerlingen.

- BROWN F, HARRIS J, LEAKEY R & WALKER A (1985) Early *Homo erectus* skeleton from west Lake Turkana, Kenya. *Nature* 316, 788–792.
- JOORDENS JCA, D'ERRICO F, WESSELINGH FP, MUNRO S, DE VOS J, WALLINGA J, ANKJÆRGAARD C, REIMANN T, WIJBRANS JR, KUIPER KE, MÜCHER HJ, COQUEUGNIOT H, PRIE V, JOOSTEN I, VAN OS B, SCHULP AS, PANUEL M, VAN DER HAAS V, LUSTENHOUWER W, REIJMER JJG & ROEBROEKS W (2015) *Homo erectus* at Trinil on Java used shells for tool production and engraving. *Nature* 518, 228–231.
- LATIMER B & OHMAN JC (2001) Axial dysplasia in *Homo erectus*. *J. Hum. Evol.* 40, A12.
- MACLARNON AM & HEWITT GP (1999) The evolution of human speech: the role of enhanced breathing control. *Am. J. Phys. Anthropol.* 109, 341–363.
- MEYER MR & HAEUSLER M (2015) Spinal cord evolution in early *Homo*. *J. Hum. Evol.* 88, 43–53.
- OHMAN JC, WOOD C, WOOD B, CROMPTON RH, GÜNTHER MM, YU L, SAVAGE R & WANG W (2002) Stature-at-death of KNM-WT 15000. *Hum. Evol.* 17, 129–142.
- SCHICK KD & TOTH N (1993) Making silent stones speak. New York.
- SCHIESS R, HÄUSLER M & LANGENEGGER E (2006) Wie pathologisch ist die Wirbelsäule des Nariokotome Boys (KNM-WT 15'000, *Homo erectus*)? *Bull. Schweiz. Ges. Anthropol.* 12, 13–22.
- SCHIESS R & HAEUSLER M (2013) No skeletal dysplasia in the Nariokotome boy KNM-WT 15000 (*Homo erectus*) – a reassessment of congenital pathologies of the vertebral column. *Am. J. Phys. Anthropol.* 150, 365–374.
- SCHIESS R, BOENI T, RÜHLI F & HAEUSLER M (2014) Revisiting scoliosis in the KNM-WT 15000 *Homo erectus* skeleton. *J. Hum. Evol.* 67, 48–59.
- STRINGER C & MCKIE R (1996) Afrika – Wiege der Menschheit. München.
- WALKER A & LEAKEY R (eds.) (1993) The Nariokotome *Homo erectus* skeleton. Berlin.

Citratnutzung bei *E. coli* und die Wiederholbarkeit der Evolution

Das Langzeit-Evolutionsexperiment (LTEE) mit dem Bakterium *Escherichia coli* sorgt erneut für Zündstoff. Eine kürzlich veröffentlichte unabhängige Untersuchung nahm das Vorzeigergebnis des LTEE – neu erworbene Citratnutzung bei *E. coli* – unter die Lupe und löste damit eine heftige Diskussion aus. Unter anderem geht es dabei um die Bedeutung der zeitlichen Abfolge der Evolution und die Entstehung neuer Merkmale.

Daniel Vedder

Bisherige Ergebnisse

Eines der bekanntesten Projekte der experimentellen Evolutionsbiologie ist das Langzeit-Evolutionsexperiment (Long Term Evolution Experiment, LTEE) mit dem Bakterium *Escherichia coli* (von dem manche Stämme im menschlichen Darm aktiv sind), das von der Arbeitsgruppe um Richard LENSKI an der Michigan State University durchgeführt wird. Seit es 1988 begonnen wurde, verfolgen die Forscher die evolutionäre

Entwicklung von zwölf anfangs identischen Bakterienkulturen (siehe VEDDER 2014 für eine ausführlichere Zusammenfassung).

Eine Veröffentlichung aus LENSKIS Labor verursachte 2008 viel Wirbel; die Autoren berichteten über das Auftauchen eines aeroben* Citrattransporters in einer ihrer Kulturen (BLOUNT et al. 2008). Normalerweise ist *E. coli* nicht in der Lage, in einer sauerstoffhaltigen Umgebung Citrat als Kohlenstoffquelle zu nutzen. Zwar könnte es verstoffwechselt werden, jedoch wird

der für den Citratimport zuständige Transporter nur unter anaeroben* Bedingungen gebildet. Vor dem Bericht von BLOUNT et al. war nur ein einziger Fall bekannt, in dem eine Mutation *E. coli* zur aeroben Citratnutzung befähigt hatte (vgl. HALL 1982 – eine solche Mutante wird als Cit+ bezeichnet, der Wildtyp als Cit-). In späteren Untersuchungen (BLOUNT et al. 2012) konnte dann auch der zugrunde liegende genetische Mechanismus aufgeklärt werden.

Die Ausbildung des Cit+-Phänotyps erfolgt in drei Schritten, die von BLOUNT et al. als Potenzierung, Umsetzung und Verbesserung bezeichnet werden (im Original: *Potentiation, Actualization, Refinement*). Das Gen *citT*, welches für den Citrattransporter codiert, liegt auf einem Operon*, das gewöhnlich nur unter anaeroben Bedingungen abgelesen wird. Während der Potenzierung wird dieses Operon ein- oder mehrfach dupliziert. Somit steigt die Wahrscheinlichkeit (das Potenzial), dass der folgende Schritt – die Umsetzung – erfolgt. Bei der Umsetzung kommt es dann zu einer Deletion (Verlust), bei der über mehrere Genregionen hinweg ein längerer DNA-Abschnitt gelöscht wird. Unter Umständen kann eine solche Deletion dazu führen, dass das *citT*-Gen mit einem anderen Operon verschmilzt, dessen Promoter auch eine aerobe Transkription erlaubt (ein sogenanntes *promoter-capture*-Ereignis). Nun kann das Bakterium auch unter aeroben Bedingungen den Citrattransporter synthetisieren. In der letzten Phase, der Verbesserung, können noch diverse andere Mutationen auftreten, die die neu erworbene Fähigkeit effizienter machen.

Das ständige Auftauchen einer immer gleichen Mutante könnte Hinweis darauf sein, dass die Anpassungsfähigkeit von *E. coli* begrenzt und vorprogrammiert ist.

Im LTEE dauerte es über 30 000 Generationen (15 Jahre), bis ein Stamm den Cit+-Phänotyp entwickelte. Unter anderem ist dieser lange Zeitraum dafür verantwortlich, dass dieses Ergebnis oft von Befürwortern der Evolutionstheorie als Beispiel für Makroevolution ins Feld geführt wird. Entsprechend wird der Cit+-Phänotyp als eine große evolutionäre Neuheit dargestellt – BLOUNT et al. sprechen sogar von einer „key innovation“. (Für eine Analyse dieser Argumente siehe BINDER 2012 und nachfolgende kritische Betrachtung.)

Zuletzt ist in diesem Zusammenhang auch noch ein evolutionsbiologisches Konzept interessant, das BLOUNT et al. „historical contingency“ nennen (etwa: historische Bedingtheit). Kurz gesagt drückt dieses Konzept aus, dass die gegen-

wärtige Entwicklung von früheren Ereignissen abhängt. Ereignisse in der Vergangenheit können neue evolutionäre Möglichkeiten eröffnen oder auch verschließen. Im LTEE ist es etwa die Potenzierung, die das spätere Auftauchen von Cit+ ermöglicht. Die elf Bakterienkulturen, die die Potenzierung nicht durchlaufen haben, haben daher auch nach über 60 000 Generationen noch keinen Cit+-Phänotyp hervorgebracht. Ohne Potenzierung erfolgt keine Umsetzung. Dieses Konzept legt nahe, dass Evolution über lange Zeiträume gesehen nie genau gleich ablaufen wird – selbst kleine, zufällige Änderungen können in der weiteren Entwicklung große Unterschiede hervorrufen.

Neue Diskussion

Nun liegt eine Arbeit vor, in der drei Forscher die Entstehung von Cit+ replizieren (VAN HOF-WEGEN et al. 2016). Sie konnten den oben beschriebenen Evolutionsmechanismus bestätigen – jedoch benötigte die Entwicklung von Cit+ in ihrem Labor weniger als 100 Generationen. Im kürzesten Fall dauerte es sogar nur zwölf Generationen, bis das neue Merkmal auftrat. Den großen Kontrast zu den über 30 000 Generationen des LTEE erklären die Autoren plausibel mit Unterschieden in den von ihnen gewählten Randbedingungen für das Experiment: Sie hatten im Vergleich zu LENSKE'S Labor eine sehr viel stärkere Selektion auf Cit+ eingebaut.

Die eigentliche Diskussion darüber begann erst, als die drei Autoren ihre Ergebnisse interpretierten. Unter anderem behaupteten sie, dass die schnelle Entstehung von Cit+ die Hypothese von der historischen Bedingtheit schwächen würde. Außerdem argumentierten sie, dass Cit+ keine neue genetische Information erfordert, da es sich lediglich um die Aktivierung eines (schon vorhandenen) stillen Gens handelt. Die Aussage,

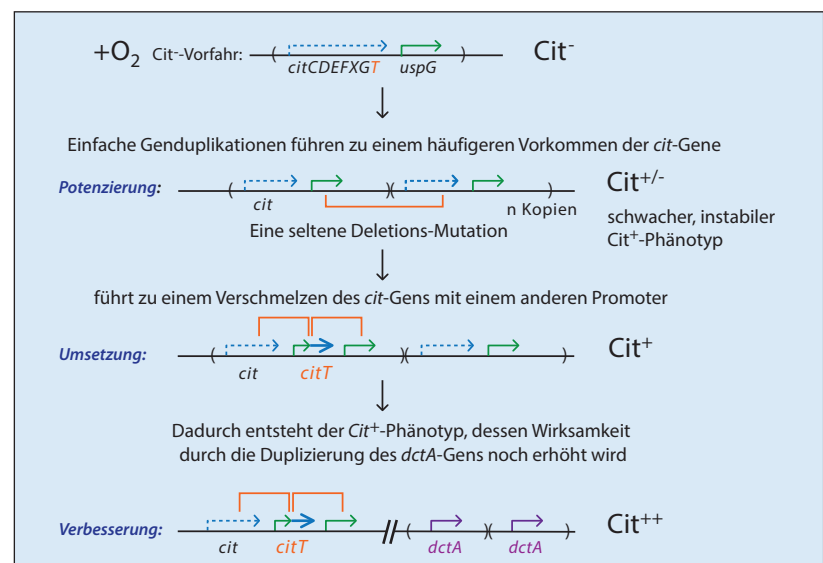
Glossar

aerob: Sauerstoff liegt vor.

anaerob: Sauerstoff wird ausgeschlossen.

Operon: Bei Bakterien vorkommende Gruppen von Genen, die eine ähnliche Funktion besitzen und gemeinsam abgelesen werden.

Abb. 1 Schematischer Mechanismus der Cit+-Entstehung. (Nach ROTH & MAISNIER-PATIN 2016)



es würde sich dabei um eine neuartige Funktion handeln, sei damit hinfällig.

Ähnliche Schlüsse wie VAN HOFWEGEN et al. zogen auch zwei andere Autoren, die den Artikel in der gleichen Ausgabe des *Journal of Bacteriology* kommentierten (ROTH & MAISNIER-PATIN 2016). Daraufhin meldeten sich LENSKI und BLOUNT in einem Blogbeitrag zu Wort, um die neue Studie aus ihrer Sicht zu bewerten (LENSKI & BLOUNT 2016). Sie lobten die wissenschaftliche Arbeit von VAN HOFWEGEN et al., bemängelten jedoch ihre Schlussfolgerungen. Insbesondere zeigten sie auf, dass die historische Bedingtheit nicht auf dem Versuchsaufbau oder auf der Dauer eines Experiments beruhte, sondern auf dem Mechanismus, wie eine neue Eigenschaft entsteht. Im Falle von Cit⁺ sei nachgewiesen, dass es ohne den Potenzierungsschritt nicht geht – folglich läge eindeutig historische Bedingtheit vor. Auch kritisierten sie die Aussage, dass keine genetische Information entstanden sei. Die Tatsache, dass ein Bakterium, das ursprünglich kein Citrat verstoffwechseln konnte, dazu nun in der Lage ist, sei für sie Beweis genug, dass irgendwo neue Information hinzugekommen sein muss.

Abschließend griff auch Michael BEHE, der aus der Diskussion um Intelligent Design bekannte amerikanische Biochemiker, in die Debatte ein. In einem weiteren Blogbeitrag (BEHE 2016) betonte er, dass die wiederholte, vorhersagbare, kurzfristige Entstehung von Cit⁺ die Besonderheit dieser Neuerung doch deutlich schmälerte. Das ständige Auftauchen einer immer gleichen Mutante sei vielmehr ein Hinweis darauf, dass die Anpassungsfähigkeit von *E. coli* begrenzt ist und vorprogrammiert zu sein scheint.

Bewertung

Wie soll man diese Diskussion nun bewerten? Zunächst kann festgehalten werden, dass bei der Entstehung des Cit⁺-Phänotyps in *E. coli* tatsächlich historische Bedingtheit wie oben beschrieben beteiligt ist. Die Argumente, die dagegen hervorgebracht wurden, sind logisch nicht haltbar und scheinen auf einem falschen Verständnis des Konzepts zu beruhen. Eine ganz andere, noch ungeklärte Frage ist jedoch, wie weitreichend der tatsächliche Einfluss der historischen Bedingtheit auf die Evolution ist. BLOUNT et al. haben gezeigt, dass es sie gibt – wie wichtig sie ist, bleibt weiterhin offen.

Der Knackpunkt dieser Debatte dreht sich nach wie vor um die Frage, ob neue genetische Information entstanden ist. In gewisser Hinsicht muss die Antwort hier Ja lauten. Schließlich ist die Position eines Gens im Erbgut auch Information; es zu verschieben bedeutet folglich, neue

Information in das System einzubringen. Jedoch ist das Ausmaß dieser neuen Information äußerst gering – in der Tat ist es schon fragwürdig, von einem „Informationszuwachs“ zu reden. Nicht zuletzt sollte man auch beachten, dass eine Deletion, sprich ein Verlust schon vorhandener Information, nötig war, um die neue Information ins Genom einzuspeisen. Die eigentlich wichtigen Informationen, das Gen für den Citrattransporter und der benötigte Promoter, waren hingegen schon lange vorhanden und mussten nur angeschaltet werden. Die Citrat-Verwertung als „key innovation“ zu bezeichnen, ist und bleibt also ungerechtfertigt.

Genau dieser letzte Punkt ist aus schöpfungstheoretischer Sicht allerdings sehr interessant. Mehrere nahe Verwandte von *E. coli* sind in der Lage, Citrat auch unter aeroben Bedingungen zu verwenden. *E. coli* kann das nicht, trägt aber die

Die Citrat-Verwertung als „key innovation“ zu bezeichnen, ist und bleibt ungerechtfertigt.

Anlagen dafür in seinem Erbgut. Könnte es sein, dass der Cit⁺-Phänotyp keine neue Funktion darstellt, sondern eine alte, die lediglich „wiederentdeckt“ wurde? Möglicherweise handelt es sich hierbei um eine Eigenschaft des Grundtyps von *E. coli*, die diese Art nur „verlernt“ hatte. Der Bezug auf die Grundtypenbiologie ist zwar Spekulation – bietet aber dennoch eine sinnvolle Deutung der vorliegenden Daten.

Das LTEE bleibt ein spannendes Experiment, das viele faszinierende Einblicke liefert. Die Citratnutzung bei *E. coli* ist ohne Zweifel sein bisher aufregendstes Ergebnis, mit wichtigen Implikationen für die Evolutionsbiologie. Trotz oder vielleicht gerade wegen neuer Forschung kann aber selbst dieses Ergebnis nicht als Beweis für Makroevolution gelten.

Literatur

- BEHE M (2016) Richard Lenski and the citrate hype – now deflated. http://www.evolutionnews.org/2016/05/richard_lenski102839.html
- BINDER H (2012) Von der Citrat-Verwertung zur Entstehung des Auges? Genesisnet News vom 23. 10. 2012, http://www.genesisnet.info/schoepfung_evolution/n187.php
- BLOUNT ZD, BARRICK JE, DAVIDSON CJ & LENSKI RE (2012) Genomic analysis of a key innovation in an experimental *Escherichia coli* population. *Nature* 489, 513–518.
- BLOUNT ZD, BORLAND CZ & LENSKI RL (2008) Historical contingency and the evolution of a key innovation in an experimental population of *Escherichia coli*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105, 7899–7906.
- HALL BG (1982) Chromosomal mutation for citrate utilization by *Escherichia coli* K-12. *J. Bacteriol.* 151, 269–273.
- LENSKI RL & BLOUNT ZD (2016) On the evolution of citrate use. <https://telliamedrevisited.wordpress.com/2016/02/20/on-the-evolution-of-citrate-use/>

Seltsam, im interstellaren Nebel zu forschen

Die Frage nach der Herkunft homochiraler Moleküle ist unter naturalistischen Prämissen unbeantwortet. Mittels Radioastronomie wurde jetzt erstmals die Existenz eines chiralen Moleküls im Weltraum wahrscheinlich gemacht (McGUIRE et al. 2016). Es handelt sich um Propylenoxid. Ob es als Racemat oder mit einem Enantiomerenüberschuss vorkommt, ist nicht bekannt. Die mittels Hilfhypothesen von den Autoren vorgestellten Überlegungen über den Ursprung der Homochiralität werden analysiert und gezeigt, dass der Fund das Gegenteil der Schlussfolgerungen der Autoren nahelegt.

Peter Imming

Chiralität und Symmetrie

Chiralität ist ein Fachbegriff aus der Chemie. Übersetzt bedeutet er Händigkeit. Gemeint ist das Phänomen, dass manche Objekte nicht mit ihrem Spiegelbild identisch sind (vgl. Abb. 1). Das gilt in zwei Dimensionen beispielsweise für den Buchstaben „P“, wohingegen das „A“ mit seinem Spiegelbild deckungsgleich ist. In drei Dimensionen gilt das für Hände: Man kann sie aneinander legen, aber sie sind nicht deckungsgleich (kongruent). In drei Dimensionen gilt das auch für Moleküle, wenn sie asymmetrisch (Symmetriegruppe C_1 , s. u.) oder dissymmetrisch (Symmetriegruppen C_n und D_n) sind. Die Fachbegriffe des vorigen Satzes stammen aus der geometrischen Beschreibung von Objekten. Man betrachtet Objekte unter dem Aspekt, welche Symmetrieelemente sie aufweisen. Ein Symmetrieelement ist ein Punkt, eine Linie oder eine Ebene, an denen man eine Symmetrieoperation vollführt. Eine Symmetrieoperation ist eine „Bewegung“ (Drehung oder Spiegelung), die das Objekt in sich selbst überführt. Einfach gesagt, sieht das Objekt nach der Bewegung genauso aus wie davor. Je mehr Symmetrieoperationen man mit einem Objekt durchführen kann, desto symmetrischer ist es. Die höchste Symmetrie weist eine ideale Kugel auf, gefolgt von den sogenannten platonischen Körpern (reguläre Polyeder: Tetraeder, Würfel, Oktaeder, Pentagondodekaeder und Ikosaeder),

gefolgt von den halbregulären Polyedern (archimedischen und catalanischen Körpern). Am wenigsten symmetrisch sind Objekte, die man nur durch Komplettdrehung um 360° an einer Achse in sich selbst überführen kann. Das sind die genannten asymmetrischen Objekte. Sie gehören zur Symmetriegruppe C_1 . „Gruppe“ ist ein Begriff aus der Mathematik. Die Menge aller Kongruenzabbildungen, die ein Objekt auf sich selbst abbilden (das sind die Symmetrieoperationen), bildet eine Symmetriegruppe eines geometrischen Objektes. Jedes Objekt gehört zu einer Symmetriegruppe, zum Beispiel der genannten „ C_1 “, eine symbolische Abkürzung.

Viele Moleküle, die Lebewesen konstituieren, gehören zur Symmetriegruppe C_1 , sind also chiral. Das Faszinierende daran: Nur das eine der beiden möglichen Enantiomere kommt in der

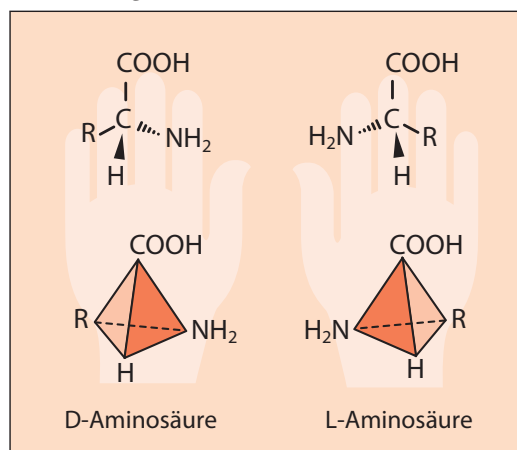


Abb. 1 D- und L-Aminosäure als Beispiel für Chiralität. Die beiden Formen sind spiegelbildlich zueinander. In Ursuppenexperimenten werden immer beide Formen zu gleichen Teilen gebildet (Racemate).



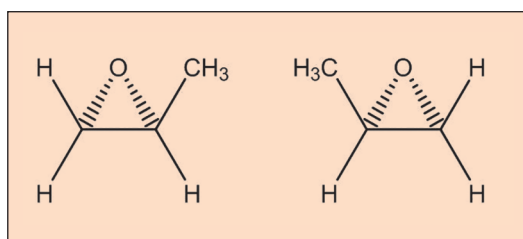
Abb. 2 In Richtung auf Sagittarius B2 (Sgr B2), einer gigantischen interstellaren Gas- und Staubwolke, wurde das chirale Molekül Propylenoxid (s. Abb. 3) entdeckt. (CC BY 3.0, ESO)

Natur bzw. in einem bestimmten physiologischen System vor. „Enantiomere“ ist das Fachwort für ein Paar von zwei Molekülen, die sich wie Bild und Spiegelbild zueinander verhalten (vgl. Abb. 1). Gleichheit der Enantiomere nennt man Homochiralität, *homo* (gleich) und *chiral* (händig). So sind bekanntlich Eiweiße aus L-Aminosäuren (Abb. 1), Kohlenhydrate aus D-Monosacchariden zusammengesetzt. L und D sind die Fischer-Deskriptoren, nomenklatorische Kürzel, die nach bestimmten Regeln vergeben werden und jedes Enantiomer eindeutig kennzeichnen. In seltenen Fällen gibt es auch D-Aminosäuren und L-Monosaccharide und dann in bestimmten anderen physiologischen Kontexten. Ihr Vorkommen lässt die Homochiralität für den Chemiker noch auffälliger erscheinen.

Homochiralität ist kein kleines Detail, sondern für Lebewesen materiell konstituierend.

Der Unterschied zwischen Objekt und Spiegelbild ist bei Molekülen fast nicht feststellbar, soweit es um ihren Energieinhalt geht. Der Unterschied ist hingegen sehr groß, wenn es um die Interaktion („Passfähigkeit“, Wechselwirkung) mit anderen chiralen Molekülen geht. Ein Mensch, der auf molekularer Ebene spiegelbildlich zu uns wäre, könnte nicht mit den Stoffen überleben, die wir unserem Körper zu seinem Aufbau und Erhalt zuführen. Die spiegelbildlichen Moleküle passen einfach nicht, so wie ein rechter Handschuh nicht auf eine linke Hand passt. Homochiralität ist also kein kleines Detail, sondern für Lebewesen materiell konstituierend.

Abb. 3 Die Enantiomere von Propylenoxid. Links S-Propylenoxid, rechts R-Propylenoxid. Die Moleküle sind spiegelbildlich zueinander, aber nicht identisch. S und R sind die Cahn-Ingold-Prelog-Deskriptoren, nomenklatorische Kürzel, die nach bestimmten Regeln vergeben werden und jedes Enantiomer eindeutig kennzeichnen. McGUIRE et al. (2016) wiesen Propylenoxid nach, ohne zu wissen, ob es sich – was am wahrscheinlichsten ist – um ein 1:1-Gemisch beider Enantiomere handelt, also um ein Racemat, oder ob eines der beiden im Überschuss vorhanden war.



Daher interessiert die Frage sehr, woher die Homochiralität der Biomoleküle kommt. Diese Frage ist bisher unbeantwortet, wenn sich die Antwort auf den Ursprung bewusst auf eine ungelenkte mechanistische Kausalkette beschränken will. Ein solcher Mechanismus müsste den bekannten Beobachtungen und Gesetzmäßigkeiten des Verhaltens von Molekülen gehorchen. Würde die mechanistische Erklärung im Widerspruch zu belegten Mechanismen und Gesetzmäßigkeiten stehen, so wäre das nicht nur spekulativ, sondern käme einem Wunder gleich und würde somit David HUME (1711–1776) widersprechen, dem Philosophen des Vertrauens vieler nicht-theistisch argumentierender Personen. Für Naturalisten käme es einem Offenbarungseid gleich zuzugeben, dass sie Erklärungen vorschlagen und akzeptieren, die den Status übernatürlicher Eingriffe haben.

Derzeit hat man für den Ur-Sprung oder Ur-Weg von Biomolekülen und Zellen eben keine ateologische Beschreibung, wie beispielsweise der berühmte US-amerikanische Chemiker James M. TOUR in einem viel beachteten Vortrag im Jahr 2016 an der Universität Waterloo (Kanada) ausführte (TOUR 2016). Das heißt, es fehlt eine Beschreibung, die ohne Zielgerichtetheit auskommt. Eine solche Beschreibung müsste auch das „Detail“ der Entstehung der Homochiralität einschließen.

Propylenoxid im Sagittarius B2

Jetzt wurde wieder einmal ein Versuch veröffentlicht, Licht in den Dunst des Ursprungs zu bringen, indem man im interstellaren Nebel sucht (McGUIRE et al. 2016). Mittels Radioastronomie entdeckten die Autoren zum ersten Mal ein chirales Molekül im Weltraum. Es handelt sich um Propylenoxid (Abb. 3). Das Molekül wurde anhand von Daten identifiziert, die aus dem öffentlich zugänglichen „Prebiotic Interstellar Molecular Survey (PRIMOS)“ stammen, also der „Präbiotischen interstellaren Moleküle-Suche“,

die am Green Bank Telescope (GBT) angesiedelt ist. Dieses hochempfindliche Teleskop stellt hochaufgelöste Daten aus dem Frequenzkontinuum 1–50 GHz zur Verfügung und beobachtet in Richtung auf Sagittarius B2 (Sgr B2), einer gigantischen interstellaren Gas- und Staubwolke (Abb. 2). Das Vorhandensein von Propylenoxid wird aufgrund von Absorptionsübergängen postuliert, die sich laut der Analyse von McGUIRE et al. (2016) aus dem Strahlungsuntergrund von Sgr B2 abheben. Bei Durchsicht von Katalogen mit Spektrallinien fanden sich keine anderen Moleküle, die Energieübergänge aufweisen, die zu einer Interferenz mit den Übergängen von Propylenoxid führen könnten. Die Sicherheit der Entdeckung von Propylenoxid bewerten die Autoren mit „strong evidence“, also „starke Hinweise“. Ein eigentlicher Beweis kann wegen der Komplexität der analysierten Strahlung und der Entfernung und Komplexität des Sagittarius-Nebels naturgemäß nicht geführt werden.

Was bedeutet der Fund für den Ursprung der Homochiralität?

Anregender als die Frage, wie sicher die Entdeckung von Propylenoxid im interstellaren Raum ist, sind die weiterführenden Überlegungen der Autoren. Sie mutmaßen, nun werde auch die Messung eventueller Enantiomerenüberschüsse chiraler Moleküle in astronomischen Objekten vorstellbar. Besonders relevant sei dies in Regionen, wo sich Planeten bilden, weil man herauszufinden möchte, wie sich Enantiomerenüberschüsse initial bilden können. Ein Enantiomerenüberschuss bezeichnet das ungleiche Verhältnis zweier spiegelbildlicher Moleküle, wie man es in den Baustoffen lebender Organismen in extremer Ausprägung vorfindet. Die Entstehung von Enantiomerenüberschüssen ist ja die Frage, vor der McGUIRE et al. (2016) und die gesamte Wissenschaftsgemeinde steht. In Lebewesen beträgt der Überschuss 100%. Es ist aufschlussreich, die Argumentation von McGUIRE et al. (2016) zu analysieren. Beobachtet wurde das vermutliche Vorhandensein eines chiralen Moleküls. Dafür hätte man nicht so weit ins Weltall gehen müssen. Der Grund, in so großer Entfernung zu suchen, liegt in einer Häufung von passend formulierten Zusatzhypothesen.

Hypothese 1: Das Propylenoxid oder ein anderes, noch zu entdeckendes chirales Molekül liege im interstellaren Staub mit einem Enantiomerenüberschuss vor.

Hypothese 2: Das schiere *Vorhandensein* eines solchen hypothetischen Enantiomerenüberschusses erlaube einen Einblick in die *Entstehung* von Homochiralität überhaupt.

Hypothese 3: Die Entstehung eines Enan-

Aus einem Befund – kein Enantiomerenüberschuss, keine Homochiralität – wird genau das Gegenteil des Befunds suggeriert.

tiomerenüberschusses bei einem abiotischen Molekül wie Propylenoxid erkläre das Entstehen der Homochiralität terrestrischer Biomoleküle.

Mit dem Satz „some meteorites show an excess of one type [of enantiomer]“ („auf einigen Meteoriten besteht ein Überschuss eines Typs [Enantiomer]“) wird letzterer Schritt als möglich hingestellt. Dass es mit dem Überschuss von Enantiomeren auf Meteoriten jedoch nicht weit her ist und man daraus keine Erkenntnisse über die Entstehung von Homochiralität auf der Erde ableiten kann, wurde nicht nur in dieser Zeitschrift detailliert dargelegt (IMMING 2012 und 2013; siehe z. B. auch LAL 2008). Genau genommen wird hier also aus einem Befund – kein Enantiomerenüberschuss, keine Homochiralität – genau das Gegenteil des Befunds suggeriert – unter Zuhilfenahme der genannten unbewiesenen drei Hypothesen, die man englisch auch als „just-so stories“ bezeichnet. Wenn jedoch mit dem Hinweis auf Meteoriten gemeint sein sollte, dass auf der frühen präbiotischen Erde Verhältnisse herrschten, die denen im interstellaren Raum oder auf einem Meteorit ähnelten, so muss daran erinnert werden, dass hypothetische kleine Enantiomerenüberschüsse unter genau solchen Bedingungen schneller zerstört als gebildet werden.

James TOUR spricht in seinem erwähnten Vortrag (TOUR 2016) von „des Kaisers neuen Kleidern“, um pointiert zu illustrieren, wie die Faktenlage bei der Frage nach der ursprünglichen Entstehung von Zellen und der dafür benötigten Moleküle ist. Der Kaiser hat keine Kleider, aber – so TOUR – niemand soll es laut sagen.

Der Artikel von McGUIRE et al. (2016) ändert an dieser Faktenlage nichts, sondern bestätigt sie.

Literatur

- IMMING P (2012) Auf der Suche nach dem „Spiegel der Weisen“. Stud. Integr. J. 19, 84–92.
- IMMING P (2013) Weitere Informationen zum „Spiegel der Weisen“. Stud. Integr. J. 20, 50–51.
- LAL AK (2008) Origin of Life. Astrophysics and Space Science 317, 267–278.
- McGUIRE BA, CARROLL PB, LOOMIS RA, FINNERAN IA, JEWELL PR, REMIJAN AJ & BLAKE GA (2016) Discovery of the interstellar chiral molecule propylene oxide ($\text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{O}$). Science 352, 1149–1152.
- TOUR JM (2016) The origin of life: an inside story. Vortrag an der Universität Waterloo (Kanada), gehalten am 03.03.2016. <https://uwaterloo.ca/pascal-lectures/2016-pascal-lectures-videos> und https://www.youtube.com/watch?v=_zQXgj-dXM4.



Der sechste Sinn bei Hummeln

Nicht nur im elektrisch gut leitfähigen Wasser, sondern auch auf dem Trockenen spielt Elektrizität bei Lebewesen eine wichtige Rolle. Der Pelz der Hummeln hat sich als regelrechter „Elektrodetektor“ erwiesen, der bei der Bestäubung eine überraschend ausgeklügelte Rolle spielt. Denn auch Blüten nutzen elektrische Felder und können sie sogar aktiv verändern, um mit ihren Besuchern gleichsam zu kommunizieren.

Hans-Bertram Braun

Abb. 1 Eine Erdhummel (*Bombus terrestris*) besucht das Blütenkörbchen einer Zinnie (*Zinnia elegans*). (Bild: Simon KOOPMANN, CC-SA 2.0)

„Elektrische“ Lebewesen sind vor allem aus dem Wasser bekannt. Zitteraale, Zitterrochen und andere Fische können starke elektrische Entladungen produzieren, um Beutefische zu lähmen. Viele weitere Knochen- und Knorpelfische (z.B. Haie) sind in der Lage, mit sogenannten Lorenzinischen Ampullen, spezialisierten Elektrorezeptoren, Beutefische oder Feinde durch die Wahrnehmung der schwachen elektrischen Felder zu detektieren, die diese bei der Kontraktion ihrer Muskeln hervorrufen. Auch das australische Schnabeltier nimmt seine Umgebung beim Tauchen im Wasser mit geschlossenen Augen durch Detektion von elektrischen Feldern mit seinem sensiblen Schnabel wahr.

Aber auch auf dem Land spielt Elektrizität in der Natur eine große Rolle: Vor wenigen Jahren wurden Experimente durchgeführt, die zeigten, dass Hummeln Blüten nicht nur an Form, Farbe (einschließlich Muster im für

Menschen unsichtbaren ultravioletten Bereich) und Duft, sondern auch an dem sie umgebenden elektrischen Feld erkennen. Schon früher war bekannt, dass Blütenpollen auch aufgrund von elektrostatischer Ladung auf Blüten übertragen werden. Insekten wie Hummeln oder Bienen laden sich im Flug durch Abstreifen von Elektronen positiv auf. Blumen sind dagegen negativ geladen. Wenn sich die Hummel dann auf der Blüte niederlässt, fliegen zwar keine Funken, aber die Pollen tun es. Bei diesem Besuch ändert sich die elektrische Ladung der Blüte für eine gewisse Zeit, allerdings nicht einfach nur passiv durch die landende Biene, sondern erstaunlicherweise aktiv durch die Pflanze selbst: Kurz vor der Landung wird sehr schnell die Ladung verändert, und auch nach dem Besuch bleiben die elektrischen Verhältnisse für eine längere Zeit verändert, sodass weitere anfliegende potenzielle Bestäuber erkennen können, ob sich

ein Anfliegen der Blüte lohnt oder ob sie gerade „ausverkauft“ ist.

Somit war also nachgewiesen, dass Hummeln elektrische Ladungen erkennen können, aber das entsprechende Sinnesorgan war noch nicht bekannt. Erster Kandidat waren die Antennen, die ja ohnehin mit Sinneszellen gepflastert sind. Außerdem war nachgewiesen worden, dass Antennen bei der Biene elektrische Signale wahrnehmen können, die durch andere Bienen z.B. beim Schwänzeltanz ausgesandt werden. Dieser Tanz wird im dunklen Bienenstock aufgeführt; dennoch erfahren die Artgenossen dadurch, in welcher Richtung Nahrung zu finden ist, wahrscheinlich also durch Wahrnehmung der elektrischen Ladung der tänzelnden Biene.

Bei den Hummeln konnte auch gezeigt werden, dass die Antennen durch statische Ladung ausgelenkt werden; die entsprechenden Nervensignale, die von der Antenne gesendet wurden, korrelierten allerdings nicht mit der angelegten elektrischen Spannung. Im Gegensatz dazu animierte ein mit Duftstoffen angereichertes Lüftchen, das im Nebeneffekt auch eine entsprechende Bewegung der Antennen hervorrief, die Nervenbahnen der Antennen zum Dauerfeuer, sozusagen als Positivkontrolle, dass die Antenne ihre Aufgabe als Duftrezeptor gut erfüllt, aber nicht als Elektrorezeptor.

Etwa jedes zehnte Körperhaar der Hummel ist an seiner Basis mit einer Sinneszelle ausgestattet.

Nun ist der Körper einer Hummel bekanntermaßen sehr behaart, und Haare erfüllen bei vielen Lebewesen die Rolle von Sinnesrezeptoren, wie etwa als Tasthaare an der Schnauze der Hauskatze oder im Mittelohr als Bewegungs- und Erdanziehungssensor. Es konnte gezeigt werden, dass etwa jedes zehnte Körperhaar der Hummel an seiner Basis mit einer Sinneszelle ausgestattet ist, die registriert, wie das normalerweise selbst elektrostatisch aufgeladene Haar durch benachbarte elektrische Felder angezogen oder abgestoßen und dadurch zur Seite gebogen wird. Dies geschieht viel schneller, stärker und in größerem Winkel, als es bei den Antennen der Hummel beobachtet wurde. Ein weiterer starker Hinweis, dass der „Elektrodetektor“ hiermit tatsächlich gefunden wurde, ergab sich daraus, dass das Feuern der Nervenzellen an der Basis der Haare tatsächlich mit dem elektrischen Feld korrelierte. So konnte gezeigt werden, dass die bekannte charakteristische Haartracht der Hummel nicht nur gut aussieht und beim Pollentransport hilft, sondern dass sie ein elektrisches Rundum-Sinnesorgan darstellt, das ihren Besitzer blitzschnell auf elektrische Felder reagieren



Abb. 2 Die starke Behaarung der Erdhummel (hier an einer Lindenblüte) spielt bei der Bestäubung eine wichtige Rolle. (Bild: Ivar LEIDUS, CC-BY-SA 4.0)

lässt, ob sie nun durch Nahrungsquellen oder Fressfeinde hervorgerufen werden. Es versteht sich von selbst, dass der „Elektro-Sinn“ der Hummeln ein enormes Ausmaß an Datenverarbeitung erfordert.

So zeigt sich, dass Organe zur Wahrnehmung schwacher elektrischer Felder weit über das Tierreich (und bis zu den Pflanzen?) verbreitet sind. Gedeutet im Rahmen des Evolutionsmodells bedeutet dies, dass sie nicht durch Vererbung von einem gemeinsamen Vorfahren stammen, sondern vielfach unabhängig voneinander (konvergent) zufällig entstanden oder gar mehrfach verloren gegangen und neu „erfunden“ worden sein müssten (S. CONWAY MORRIS¹). Ob das eine überzeugende Erklärung der Datenlage dieses erstaunlichen „Sechsten Sinnes“ ist, mag jeder Leser selbst beurteilen.

Anmerkung

¹ „From an evolutionary point of view, electroreception is particularly intriguing as a sense modality that has been repeatedly lost and reinvented again.“ (http://www.mapoflife.org/topics/topic_41_electroreception-in-fish-amphibians-and-monotremes/)

Literatur

- SUTTON GP, CLARKE D, MORLEY EL & ROBERT D (2016) Mechanosensory hairs in bumblebees (*Bombus terrestris*) detect weak electric fields. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 113, 7261–7265, doi:10.1073/pnas.1601624113
- CLARKE D, WHITNEY H, SUTTON GP, ROBERT D (2013) Detection and Learning of Floral Electric Fields by Bumblebees. *Science* 340, 66–69, doi: 10.1126/science.1230883
- GREGGERS U, KOCH G, SCHMIDT V, DÜRR A, FLORIQU-SERVOU A, PIEPENBROCK D, GÖPFERT MC & MENZEL R (2013) Reception and learning of electric fields in bees. *Proc R Soc B* 280: 20130528. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.0528>

Chemisches Missing Link gefunden?

Bis vor kurzem galt die Synthese von Purinnukleosiden* als ungelöstes Problem der präbiotischen Chemie. In einem aktuellen Artikel der Wissenschaftszeitschrift *Science* hat ein Forscherteam einen Syntheseweg als „plausibles Szenario“ der erstmaligen Purinnukleosid-Entstehung vorgeschlagen. Eine nähere Betrachtung der Reaktionsbedingungen und Resultate zeigt jedoch, dass es sich um eine von Experten sorgfältig geplante und durchgeführte Synthese handelt und nicht um eine realistische Simulation präbiotischer Vorgänge.

Boris Schmidtgal

Die Frage nach der erstmaligen Entstehung von Lebewesen gilt nach wie vor als eines der hartnäckigsten Probleme der Evolutionslehre. Daher ist es nicht ungewöhnlich, dass wissenschaftliche Veröffentlichungen, in denen wesentliche Beiträge zur Auflösung dieses Rätsels vorgeschlagen werden, sehr große Aufmerksamkeit erfahren. In solchen Artikeln werden oft chemische Reaktionen oder Reaktionsabfolgen beschrieben, die unter mutmaßlichen präbiotischen* Bedingungen stattgefunden haben könnten und zu Molekülen führen, die am materiellen Aufbau von Lebewesen beteiligt sind. Besonders hohen Stellenwert hat dabei die Suche nach einer Erklärung für die erstmalige Entstehung der Nukleotide, aus denen Nukleinsäuren aufgebaut sind (Moleküle, die das Erbgut aller Lebewesen tragen).

Eine Hypothese verliert ihren Status und wird ersetzt

Abb. 1 Bausteine der Ribonukleinsäuren (RNA): die vier kanonischen Nukleoside.

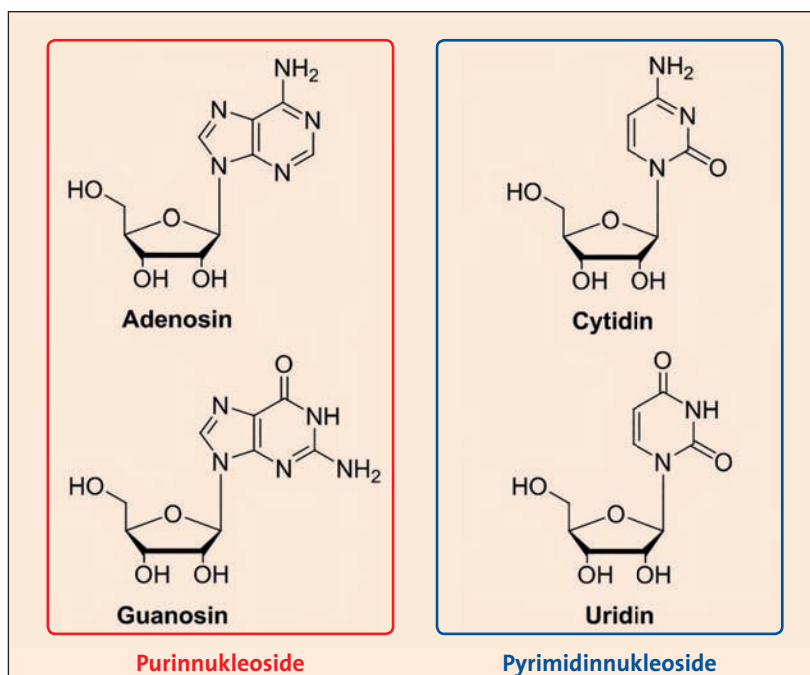
Vor einigen Jahren wurde von POWNER et al. (2009) ein präbiotischer Syntheseweg zu Pyrimi-

dinnukleotiden* (Bausteine von Nukleinsäuren, s. Abb. 1: Pyrimidinnukleoside) vorgeschlagen, der von vielen Forschern zitiert und lobend kommentiert wurde (s. z.B. HIGGS 2014, im Literaturverweis). Die Arbeit von POWNER wurde von BINDER kritisch analysiert (2009). Die Frage nach der erstmaligen Entstehung von Purinnukleosiden (Abb. 1) galt dagegen bislang als ungelöst, auch wenn bereits vor über 40 Jahren erste Experimente von FULLER et al. (1972) dazu durchgeführt und beschrieben wurden.

Während FULLER et al. (1972) ihre Ergebnisse als ausreichend für die Erklärung der Entstehung von Purinnukleosiden einschätzten¹, äußerten sich Wissenschaftler in der Folgezeit kritischer. Konsequenterweise sahen sich einige Forschergruppen motiviert, das noch fehlende chemische „missing link“ zu suchen. Kürzlich wurde ein Beitrag von BECKER et al. (2016) über die präbiotische Synthese von Purinnukleosiden sogar in der renommierten Wissenschaftszeitschrift „Science“ publiziert.

BECKER et al. haben sich gründlich überlegt, wie die „präbiotische“ Synthese der Purinnukleoside gelingen könnte, bevor sie ihr Vorhaben in die Tat umgesetzt haben.

Es fällt auf, dass BECKER et al. sich gründlich überlegt haben, wie die „präbiotische“ Synthese der Purinnukleoside gelingen könnte, bevor sie ihr Vorhaben in die Tat umgesetzt haben. Dazu gehörte eine eingehende Analyse der Ursachen für die geringen Ausbeuten und die wenig ausgeprägte chemische Selektivität der von FULLER et al. früher durchgeführten Synthese. Als Hauptgrund wurde die schwach ausgeprägte Reaktivität des N9-Atoms der Purinbasen (Adenin, Guanin) ausgemacht, also ausgerechnet desjenigen Stickstoffatoms, das in natürlich vorkommenden Purinnukleosiden an die Zuckereinheit (Ribose) gebunden ist (s. Abb. 2). Wegen dessen geringer Reaktivität



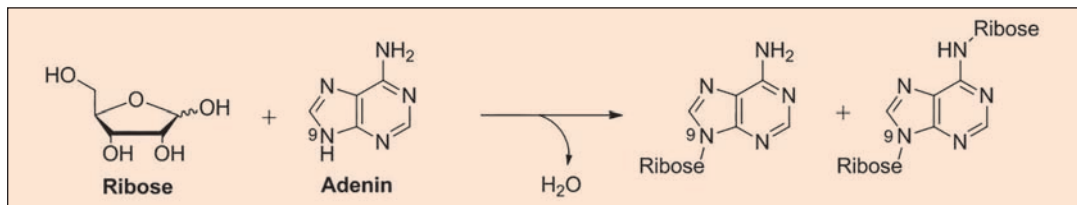


Abb. 2 Reaktion von Ribose und Adenin nach FULLER et al. (1972).

verlaufen die Reaktionen von Purinbasen mit Ribose unter geringer Regioselektivität, d. h. es entstehen mehrere unterschiedlich verknüpfte Moleküle (s. Abb. 2).

Folglich wurde eine Alternative zu den Purinbasen als Ausgangsmaterial gesucht. Durch scharfsinnige Symmetrie- und Reaktivitätsanalysen gelangten die Autoren zu den Formamidopyrimidinen **1** (FaPys) (Abb. 3). Diese chemischen Verbindungen können ausgehend von Aminopyrimidinen **2** durch Sieden in einem Gemisch aus Natriumformiat **3** und Ameisensäure **4** erhalten werden. Auffallend ist schon bei dieser Umsetzung die wasserfreie Reaktionsführung. Eine weitere interessante Eigenschaft dieser Reaktion ist ihre Selektivität. Es reagiert nämlich ausschließlich die in Position 5 befindliche Aminogruppe des Moleküls (Abb. 3).

Dieser Aspekt wurde von den Autoren selbstverständlich in die Syntheseplanung einbezogen. Nach der Reaktion wurden die FaPys durch gezieltes Einstellen des pH-Werts kristallisiert und von der Reaktionsmischung durch Filtration getrennt. Mit dem reinen Produkt konnte der nächste Schritt durchgeführt werden. Die FaPys wurden zunächst mit Ribose in trockener Form zur Reaktion gebracht, wobei vermutlich das Zwischenprodukt **5** resultierte (Abb. 4). Anschließend wurde das Gemisch in einer alkalischen Lösung (0,5 M Ammoniak) aufgenommen und einige Tage in einem Druckgefäß erhitzt. Dadurch wurde die Ringschluss-Reaktion des Zwischenprodukts **5** unter Austritt von Wasser bewirkt, sodass schließlich Purinnukleoside **6** erhalten wurden (s. Abb. 4).

Kritische Analyse der Ausführungen von BECKER et al.

Die Autoren des Artikels beurteilen den von ihnen untersuchten Syntheseweg als realistisches Szenario der präbiotischen Entstehung von Purinnukleosiden. Ob diese Einschätzung gerechtfertigt ist, wurde jedoch in keiner Weise kritisch hinterfragt. Dabei geben die durchaus anspruchsvollen Verfahren, die in der Publikation beschrieben werden, reichlich Anlass zu weiterführenden Fragen. Es werden die genau eingestellten Versuchsbedingungen beschrieben, die zu maximalen Ausbeuten und hohen Selektivitäten führen (pH-Wert, Konzentration der chemischen Verbindungen, Temperatur, Zeit

etc.). Es sind allerdings keinerlei Kontrollversuche zur Variation der eingestellten Parameter dokumentiert worden. So wäre es z. B. von Interesse zu prüfen, ob die Synthese der FaPys bei Vorhandensein von Wasser ebenfalls gelingt, da die Abwesenheit von Wasser bei präbiotischen Vorgängen extrem unwahrscheinlich ist. Des Weiteren hätte anhand weniger zusätzlicher Versuche gezeigt werden können, wie empfindlich die Synthese der Nukleoside gegenüber einer

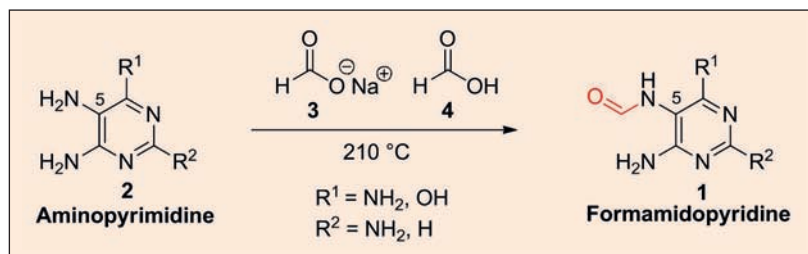


Abb. 3 Synthese von Formamidopyridinen ausgehend von Aminopyrimidinen.

stufenweisen Veränderung des pH-Werts ist. Ein sehr wichtiger Parameter ist auch die Zeit. Wenn angenommen wird, dass die Nukleoside durch Reaktion einiger kleiner Moleküle und anschließendes Erhitzen des Zwischenprodukts **5** auf 100 °C für 8 Stunden entstanden sind, hätten einige wenige Kontrollversuche mit längeren Reaktionszeiten unbedingt durchgeführt werden müssen. Schließlich kann nicht davon ausgegangen werden, dass unter geologischen

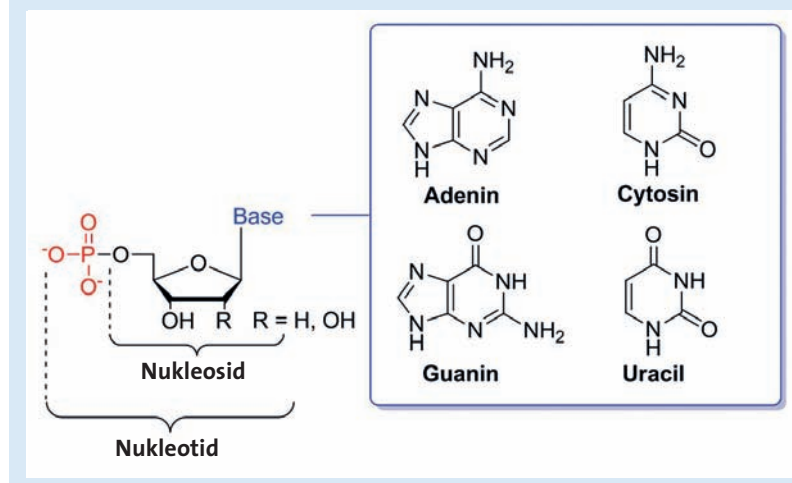
Glossar

Nukleoside: Moleküle, die aus einer Nukleobase (Purine oder Pyrimidine) und einer Zuckereinheit (gewöhnlich (Desoxy-) Ribose) zusammengesetzt sind.

Nukleotide: Phosphatierte (oder phosphorylierte) Nukleoside, d. h. Nukleoside, an die eine Phosphateinheit angeknüpft

ist (an eine der Hydroxylgruppen in 2'-, 3'- oder 5'-Position). Nukleotide sind die Bausteine der DNA und RNA; viele Nukleotide sind an regulatorischen Funktionen in den Zellen beteiligt.

präbiotisch: vor der Existenz der ersten Lebewesen.



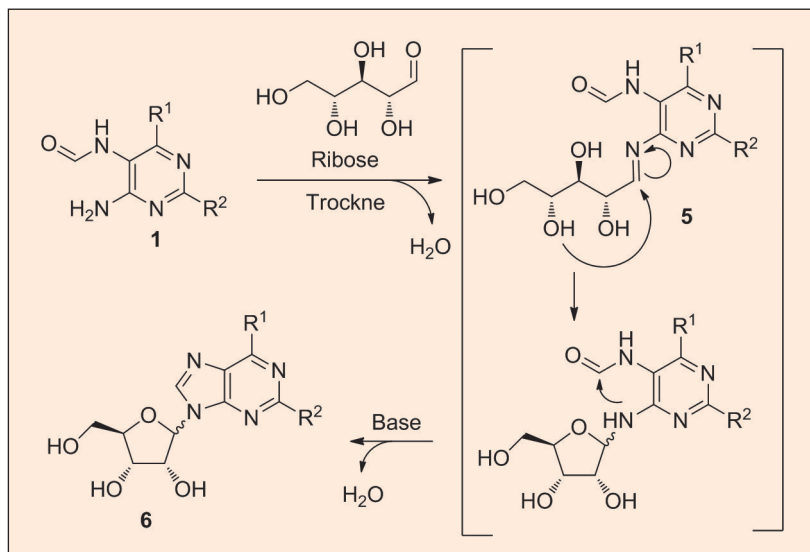


Abb. 4 Synthese von Nukleosiden ausgehend von Ribose und FaPys (zu R¹ und R² s. Abb. 3).

Bedingungen nach genau 8 Stunden die Temperatur sinkt, wenn sie bis dahin bei 100 °C gelegen hat. Darüber hinaus wurden einige Reaktionen bei sehr unrealistischen Konzentrationen der beteiligten Komponenten durchgeführt (z.B. 0,5 M Ammoniak). Wie das Ergebnis bei geringeren Konzentrationen der betreffenden Ausgangsstoffe aussieht, geht aus der Arbeit nicht hervor. In einigen Fällen wurden die Reaktionen sogar in geschlossenen Reaktoren unter erhöhtem Druck geführt, um ein Entweichen des an der Reaktion beteiligten Ammoniaks zu verhindern. Wie unter geologischen Bedingungen ein Wechsel zwischen „verschlossenem Reaktionsgefäß“ und offenem System realisiert werden könnte, stellt allerdings ein schwerwiegendes Problem dar. Auch die schrittweise Zugabe der einzelnen Komponenten zum Reaktionsgemisch wurde nicht weiter kommentiert. Dabei wurde die Reihenfolge der Zugabe ausgehend vom gewünschten Ergebnis gewählt. Die berechtigte Frage: „Was geschieht bei einer Änderung der Reihenfolge der zugegebenen Komponenten?“ wurde nicht einmal erwähnt. Im Gegensatz dazu wiesen POWNER et al. in ihrer Arbeit über eine vergleichbare Synthese der Pyrimidinnukleotide fairerweise auf diese Problematik hin.

Auch wenn der Arbeit von BECKER et al. eine durchaus originelle Idee zugrunde liegt, ist die Bezeichnung des realisierten Synthesewegs als „präbiotisch“ in keiner Weise angebracht. Wenn es schon sehr unwahrscheinlich ist, dass auch nur einer der Parameter unter präbiotischen Bedingungen den experimentellen Bedingungen entsprechend eingestellt wird, dann ist das *zeitgleiche* Zustandekommen von mehreren genau eingestellten Parametern faktisch unmöglich. Bei einer der durchgeführten Nukleosidsynthesen, die im experimentellen Teil der Arbeit dokumentiert wurde, sind ganze neun steuernde Eingriffe notwendig, damit die Synthese gelingt. Der unkritische Umgang mit den erhaltenen

experimentellen Daten und der gewählten Vorgehensweise ist überraschend. Noch mehr jedoch verwundert der Schlusssatz der diskutierten Publikation: „Das Ausgangsmaterial (für die Nukleosidsynthese) stellen kleine Moleküle wie HCN (Blausäure), NH₃ (Ammoniak) und besonders Ameisensäure-Derivate dar, die allesamt auf Kometen wie 67P/Churyumov-Gerasimenko nachgewiesen wurden.“ Dabei war Blausäure keinesfalls das Ausgangsmaterial in der experimentellen Arbeit von BECKER et al. Es wurde lediglich in anderen wissenschaftlichen Artikeln als mehrere Schritte entfernte Vorstufe der FaPys beschrieben. Damit ist der letzte Satz der Publikation irreführend, da der besagte Vorgang entgegen der Aussage des Textes nur hypothetischer Natur ist. Dass dieser Sachverhalt selbst im Rahmen des Peer-Review-Verfahrens einer hochkarätigen wissenschaftlichen Zeitschrift wie *Science* nicht korrigiert wird, ist mehr als erstaunlich.

Übertriebene oder gar inhaltlich falsche Aussagen schaden der Glaubwürdigkeit von Veröffentlichungen.

Es ist im Sinne naturwissenschaftlicher Seriosität unverzichtbar, dass bei der Begutachtung kritische Fragen wie die hier angeführten, die bereits seit vielen Jahren angemahnt werden, gestellt und reflektiert werden. Dies gilt insbesondere für Themen, die vonseiten der Leserschaft ein hohes Maß an Aufmerksamkeit erfahren. Übertriebene oder gar inhaltlich falsche Aussagen wie im Schlusssatz des diskutierten Artikels schaden dagegen der Glaubwürdigkeit von Publikationen zu wissenschaftlichen Themen.

Anmerkung

- ¹ „The demonstration that purine nucleosides are formed from purines and ribose in the presence of inorganic polyphosphates thus completes a prebiotic synthesis of purine nucleosides.“

Literatur

- BECKER S et al. (2016) A high-yielding, strictly regioselective prebiotic purine nucleoside formation pathway. *Science* 352, 833–836.
- BINDER H (2009) Neue Synthese für Nukleinsäure-Bausteine – ein plausibler Weg zu ersten Nukleinsäuren? *Stud. Int. J.* 16, 111–113.
- FULLER WD, SANCHEZ RA & ORGEL LE (1972) Studies in Prebiotic Synthesis VI. Synthesis of purine nucleosides. *J. Mol. Biol.* 67, 25–33.
- HIGGS PG & LEHMAN N (2015) The RNA world: molecular cooperation at the origins of life. *Nature Reviews* 16, 7–17.
- POWNER MW, GERLAND B & SUTHERLAND JD (2009) Synthesis of activated pyrimidine ribonucleotides in prebiotically plausible conditions. *Nature* 459, 239–242.



Die explosive Eruption des Laacher-See-Vulkans

Der späteiszeitliche Ausbruch des Laacher-See-Vulkans ist in mehrfacher Weise bedeutsam. Hinsichtlich seines rekonstruierbaren Ablaufes: Es war die gewaltigste explosive Vulkaneruption in Mitteleuropa in der jüngsten geologischen Vergangenheit. Bezüglich seines stratigraphischen Nutzens: Die über weite Teile Mitteleuropas verbreitete Laacher-See-Asche bildet einen wichtigen Leithorizont. Und hinsichtlich seiner Datierung: Das ausgewiesene Ausbruchdatum – 12 900 Jahre vor heute –, obgleich durch drei vermeintlich unabhängige Methoden ermittelt, ist keineswegs sicher.

Michael Kotulla

Als ein herausragender Ort der rheinischen Landschaften ist der Laacher See nicht unmittelbar einsehbar. Es ist ein Wall zu überqueren, um zu dem kleinen, aber zugleich größten See (3,3 km²) von Rheinland-Pfalz zu gelangen, der etwa 40 Kilometer südlich von Bonn liegt (Abb. 1). Mit einer heutigen Höhe von 275 m über dem Meeresspiegel liegt der Laacher See mit seinem leicht achtförmigen Umriss rund 215 m höher als der östlich in acht Kilometer Entfernung fließende Rhein. Am Aufbau des Beckenrandes sind mehrere ältere Schlackenkegel* beteiligt (u. a. Thelenberg, 400 m; Laacher Kopf, 442 m; Veitskopf, 427 m; Krufter Ofen, 463 m). Sie verstärken die kesselartige Struktur des Seebeckens; dieses ist letztlich ein Loch, das als Folge einer explosiven Eruption entstanden ist und vermutlich noch durch eingebrochene Schollen modifiziert wurde. In diesem Sinne kann die Hohlform auch als vulkanischer Einbruchskrater, eine Caldera, bezeichnet werden; und so betrachtet ist sie sogar die größte und einzig wassergefüllte in Mitteleuropa. Der vulkanische Krater trägt heute den Namen des Sees: Laacher-See-Vulkan.

Rund 1,5 Millionen Besucher sind im vergangenen Jahr am Laacher See gezählt worden.¹ Nicht wenige von ihnen begeistern sich für den Laacher-See-Vulkan und das gesamte Vulkanfeld der Osteifel. Nicht zuletzt ist das Interesse auch

durch zahlreiche geo-touristische Maßnahmen geweckt oder verstärkt worden: unter anderem mit der Einrichtung des „Vulkanparks“ als Teil des Nationalen Geoparks „Vulkanland Eifel“, dem Vulkanmuseum Lava-Dome (Mendig) oder dem Geotop „Laacher-See-Tephra am Wingersberg“.² Das ältere, mehrdeutige Motto des Vulkanparks „Die Vulkane sind unter uns“ wird allerdings nicht mehr verwendet.

Rekonstruktion eines katastrophalen Ereignisses

Die späteiszeitliche³ Eruption des Laacher-See-Vulkans war die gewaltigste Vulkaneruption in West- und Mitteleuropa in der jüngsten geo-

Die Hauptphase der Eruption dauerte vermutlich nur wenige Tage.

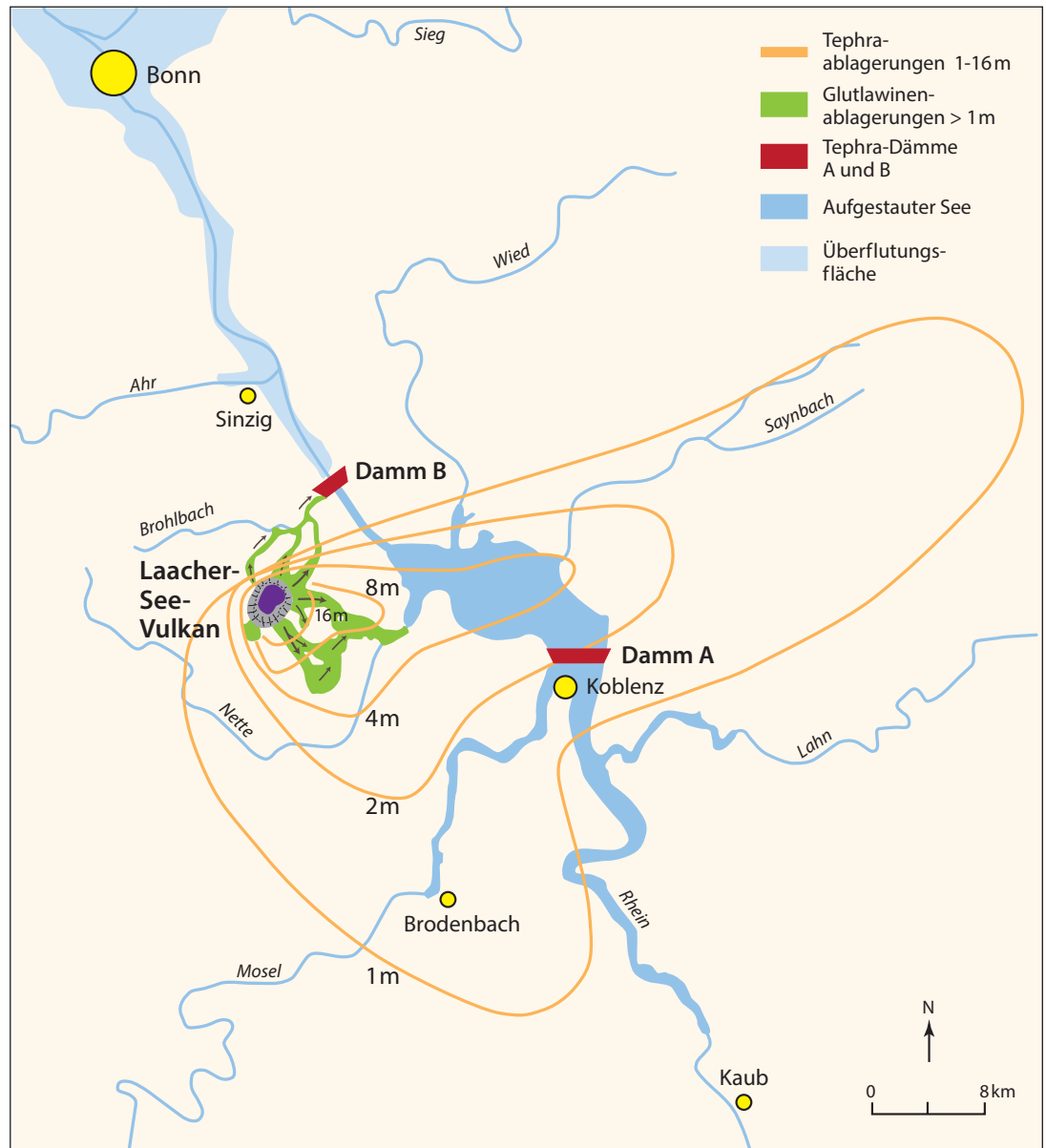
logischen Vergangenheit. Das Ereignis ist nicht direkt dokumentiert. Es ist insbesondere von SCHMINCKE und VAN DEN BOGAARD rekonstruiert worden⁴, durch Interpretation der vulkanischen Auswurfprodukte (Tephra) und ihrer Lagerungsverhältnisse und unter Einbeziehung vergleichender Studien (wissenschaftlich) beobachteter Ausbrüche wie die des Mt. St. Helens (1980, USA) und El Chichón (1982, Mexiko).

Abb. 1 Das Becken des Laacher Sees. Das Loch entstand durch ein explosives vulkanisches Eruptionseignis; die Hauptphase dauerte vermutlich nur wenige Tage. Der See ist etwa 2 km lang und 51 m tief. Mehrere ältere Schlackenkegel sind am Aufbau des bewaldeten Beckenrandes beteiligt; sie verstärken die kesselartige Struktur des Beckens. Foto: © Thilo PÖRLING, www.poerling-immobilien.de (freundl. Zurverfügungstellung).

Hinweis zu den Anmerkungen:

Die Anmerkungen enthalten Belegzitate und weitere Informationen, Abbildungen und Tabellen(Z); sie können als Zusatzmaterial zum Artikel unter www.si-journal.de/jg23/heft2/laacher-see.pdf heruntergeladen werden.

Abb. 2 Regionale Verbreitung der Laacher-See-Tephra. Lila: Ausbruchszentrum. Orange: Fallablagerungen links und rechts des Rheins (Mächtigkeiten >16 bis 1 m, Isopachenfächer). Grün: Aschestromablagerungen (Ignimbrite); sie füllten die unmittelbar angrenzenden Paläotäler (hauptsächlich Brohl- und Nettetäl) bis zum Rhein. Rot: Tephra-Dämme; die plötzliche Materialverfüllung führte zu einer vermutlich mehrphasigen Aufstauung des Rheins sowie zu Dammbildungen (A, Koblenzdam, zusammen-geschwemmte Fallablagerungen, und B, Brohldamm, Aschestromablagerungen). Mittelblau: auf- bzw. rückgestauter Rhein. Hellblau: Überflutungsflächen; der Bruch der instabilen Dämme schließlich führte zu Stauseeausbrüchen (hier nach Brohldamm-Bruch). Abbildung nach PARK & SCHMINCKE (2009) sowie SCHMINCKE (2013). Grafik: Frank MEYER.



Demzufolge bildet die stratigraphische Dreigliederung der Ablagerungen – Untere, Mittlere und Obere Laacher-See-Tephra (LST) – den Eruptionsmechanismus ab: eine komplexe, im Verlauf wechselhafte (plinianische⁵) Eruption mit phreatomagmatischen (s. u.) Phasen zu Beginn, in der Mitte und insbesondere in der Endphase.⁶ Daneben gilt es aufgrund des Transportmechanismus drei Ablagerungstypen zu unterscheiden: Fall- (fallout, Niederschlag), Strom- (infolge einer kollabierenden Eruptions-säule) und Base-Surge-Ablagerungen (infolge Bodendruckwellen).

Der Hauptteil von etwa 20 km³ Tephra ist wahrscheinlich innerhalb weniger Tage aus dem Krater geschleudert worden: Asche, Lapilli, Bims (erstarrte Fetzen aufgeschäumten Magmas) sowie (Nebengesteins-) Bruchstücke von Schiefen und Sandsteinen aus dem Untergrund. Während der Hauptphase wurden Asche und Bims bis über 30 km hoch in die Stratosphäre katapultiert und über unterschiedliche Strömungssysteme sowohl

weit nach Nordosten (bis Südschweden und Polen) als auch nach Süden (bis Norditalien) verfrachtet, wo ihre Niederschläge in Form dünner Lagen in See- und Moorablagerungen noch heute aufzufinden sind (Abb. 4). In Kraternähe wurde Tephra über 35 m hoch aufgeschichtet (s. Wingertsberg, Abb. 3). Der gewaltige Bims- und Ascheniederschlag erfolgte hauptsächlich östlich des Kraters; noch in einer Entfernung von 30–50 km beträgt die Mächtigkeit örtlich bis zu einem Meter. Mächtige pyroklastische Ströme (Glutlawinen), die sich radial vom Krater weg zu den jeweils topographisch tiefsten Punkten hinunterbewegten, rasten über Seitentäler (heutiges Nettetäl und Brohltäl) bis an und in den Rhein. In den Tälern bildeten sich so bis zu 60 m mächtige, helle und massige Ablagerungen (Ignimbrite). Am Wingertsberg (Abb. 3) zeugen die dünenartigen Strukturen der Oberen LST von hohen Transportgeschwindigkeiten; diese Base-Surge-Ablagerungen entstanden durch „sedimentgeladene Bodendruckwellen“ als unmit-



Abb. 3 Obere Laacher-See-Tephra mit dünenförmigen Bildungen (obere zwei Drittel des Ausschnittes der Tephra-Folge). Die „Dünen“ zeugen von hoher Transportgeschwindigkeit durch sogenannte Base Surges, am Boden dahin schießende Druckwellen (SCHMINCKE 1970); sie bestanden aus einem Gemenge aus Lapilli, Bruchstücken des Untergrundgesteins und Dampf. Ihre hohe Energie entstand durch Magma-Wasser(dampf)-Explosionen. Wingertsberg, ca. 1 km S Laacher See, Transportrichtung von links nach rechts. Foto: M. KOTULLA, 2008.

telbare Folge des hochexplosiven Kontaktes von Grundwasser und Magma (phreatomagmatisch).

Das eruptierte, phonolithische* Magma besitzt ein Volumen von insgesamt über 6 km³ (entspricht 1/3 des Tephra-Volumens); das ist wesentlich mehr Magma „als aus allen 300 Schlackenkegeln und ihren Lavaströmen der Eifel-Vulkanfelder zusammen“ (SCHMINCKE 2013). Das Magmareservoir soll sich nach einem Magmadifferentiations- bzw. Magmareservoirmodell oberflächennah in einer Tiefe von 3–6 km befunden haben (WÖRNER & SCHMINCKE 1984); der achtförmige Umriss des Sees soll von einer Verlagerung des Eruptionszentrums von Süden nach Norden herrühren.

Der massige Materialeintrag in den nahegelegenen Rhein führte wiederholt zu Aufstauungen, Dammbrüchen und Zehnermeter hohen Flutwellen (PARK & SCHMINCKE 1997, 2009). Zunächst stauten Fallablagerungen der frühen Ausbruchphase (Untere LST) mehrmals den Rhein bei Koblenz auf; dies aber nur temporär, für wenige Stunden. Denn bei nachlassender oder aussetzender Tephrazufuhr wurden die instabilen Barrieren („Koblenzer Dämme“) schnell wieder ausgeräumt. Während der zweiten Ausbruchphase (Mittlere LST, Abschnitt A) allerdings erreichten Stromablagerungen das enge Rheintal bei Brohl und bildeten dort einen temporär stabilen Damm. Im Neuwieder Becken bildete sich schnell ein See⁷ (knapp 30 m Höhe); ein Rückstau erfolgte in die Seitentäler und (rechnerisch) etwa 140 km stromaufwärts, etwa bis zum heutigen Mannheim. Noch vor

dem Ende der vierten und letzten Ausbruchphase (Beginn Obere LST, Abschnitt B) muss der „Brohldamm“ gebrochen sein; der Stauseeausbruch löste eine verheerende Flutwelle rheinabwärts aus.

Laacher-See-Tephra: mehr als ein Leithorizont

In ihrer räumlichen Verbreitung liefern vulkanische Aschenlagen nicht nur einen wichtigen Leithorizont, sondern echte Isochronen, d. h. exakte Zeit-Bezugsflächen – denn ein Aschen-Niederschlag erfolgt quasi gleichzeitig während einer Spanne von Stunden oder wenigen Tagen. In der stratigraphischen Korrelation sind überlieferte Aschenlagen deshalb anderen strati-

Glossar

Allerød: Eine Phase der klimatostratigraphisch gegliederten, jüngeren Abschnitte des Quartärs in NW-Europa. Die nachfolgenden relativen Kalt-/Warmphasen sind: Jüngere Dryas (oberstes Pleistozän), Präboreal bis Subatlantikum (Holozän), siehe Abb. Z1.

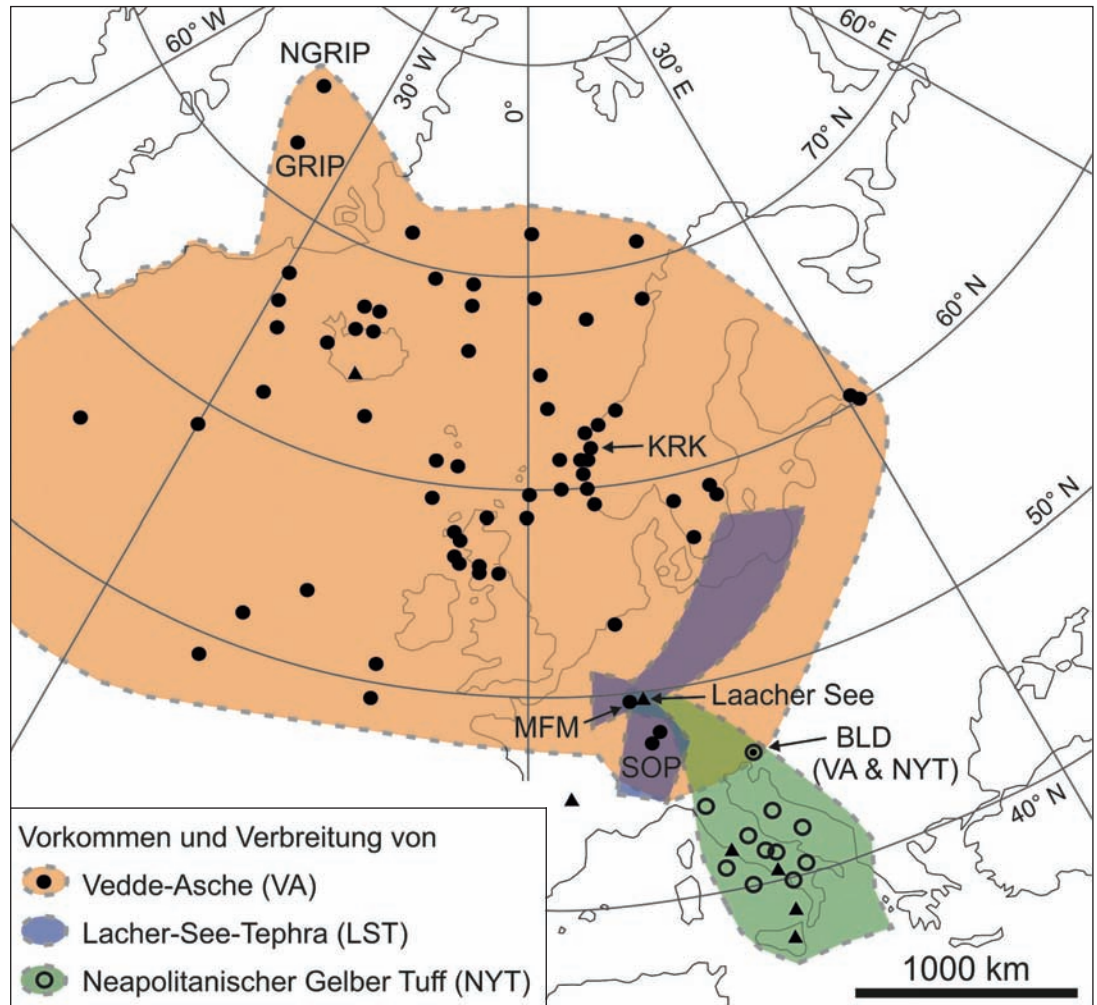
phonolithisch: Eine Bezeichnung, die die Zusammensetzung der Magmen beschreibt: Mg- und Fe-arm, aber Al₂O₃-, K₂O- und Na₂O-reich.

Schlackenkegel: Hügeliger Vulkanbau aus Schlacke und Asche; Anhäufung

(Aufbau) bis zu mehreren 100 m Höhe durch wiederholte Lava- und Aschenfontänen. Z. B. ist der 1943 neu entstandene Paricutin-Vulkan (Mexiko) während der 9-jährigen aktiven Phase (bis 1952) auf 424 Meter angewachsen.

Tephrostratigraphie: Zeitliche (relative) Gliederung und Korrelation von Gesteinskörpern anhand von Tephraablagerungen, insbesondere eingeschalteter Aschelagen in Sedimentfolgen (im Falle größerer Distanzen zum Ausbruchszentrum).

Abb. 4 Vorkommen und Verbreitung der Laacher-See-Tephra (LST, lila) in Mitteleuropa. In der Sedimentfolge des Meerfelder Maars (MFM) sind neben der Laacher-See-Tephra (8,76 m Tiefe) auch die Vedde-Asche (Tiefe 8,01 m; VA, orange) und der Neapolitanische Gelbe Tuff (Tiefe 10,72 m; NYT, grün) nachgewiesen worden. Die Verbreitung dieser drei Aschenlagen über große Teile von Europa liefert für den Grenzbereich Pleistozän/Holozän ein stratigraphisches Netzwerk, das Korrelationen von Grönland bis zum Mittelmeer erlaubt (siehe Textteil, vgl. KOTULLA 2013). Abbildung nach DAVIES et al. (2012) sowie LANE et al. (2015). Legende²²: schwarze Dreiecke sind vulkanische Ausbruchszentren, Kreise Fundpunkte. Grafik: Rafael SCHÄFFER.



graphischen Methoden überlegen, insbesondere der biostratigraphischen. Voraussetzung allerdings ist eine Unterscheidung und eindeutige Identifizierung der einzelnen Aschenlage; bei quartären Aschenlagen wird dies vorwiegend auf geochemischer Basis versucht.

Im Laacher-See-Gebiet überdecken die mächtigen Laacher-See-Bimse eine wenige Dezimeter dicke Lössschicht, die dem Allerød* zugerechnet wird, einer relativ wärmeren Phase in der Späteiszeit (Tab. Z1). Mancherorts werden die Bimse wiederum von Flugsanden überlagert. Die weitverbreitete Laacher-See-Tephra ist vielerorts in See- und Moorablagerungen nachgewiesen (Abb. 4); die Tephra-Lage wird dort noch von einigen Metern bzw. Dezimetern Sediment überdeckt. Die klimatostratigraphische Interpretation dieser Sedimentfolgen, entsprechend den definierten Kalt- und Warmphasen bis in die Gegenwart, stellt die Laacher-See-Tephra ebenfalls noch in das Allerød.⁸

Weitere (aktive) vulkanische Provinzen im heutigen Europa mit vergleichbarem, explosivem Vulkanismus sind Island und Regionen im Mittelmeer-Raum. Erst kürzlich ist in den Seesedimenten des Meerfelder Maars (Eifel, 50 km SW Laach) zusätzlich Tephra der jüngeren Vedde-Asche (Herkunft: Katla, Island; ca. 2200 km)

und des älteren Neapolitanischen Gelben Tuffs (Herkunft: Phlegräische Felder bei Neapel; ca. 1200 km) nachgewiesen worden (LANE et al. 2015; Tab. Z2). Wird die jeweilige räumliche Verbreitung dieser Aschenlagen mit der der Laacher-See-Tephra stratigraphisch verknüpft, entsteht für das oberste Pleistozän und dem definierten Grenzbereich Pleistozän/Holozän ein pan-europäisches tephrostratigraphisches* Netz exakter Zeit-Bezugsflächen, das von Grönland bis zum Mittelmeer reicht und eine Korrelation in unterschiedlichsten Ablagerungsmilieus (Eis, Land und Meer) erlaubt (Abb. 4).

Altersbestimmungen

Der Ausbruch des Laacher-See-Vulkans soll vor 12 900 Jahren geschehen sein. Dieses Datum ist in der Fachwelt allgemein anerkannt.⁹ Es gilt als gesichert, da es auf drei (vermeintlich) unabhängige Altersbestimmungsmethoden gründet, die übereinstimmende Ergebnisse geliefert haben. – Wie aber ist das Datum des Ausbruchereignisses konkret ermittelt worden und was bedeuten diese Ergebnisse?¹⁰

Unter Anwendung der Radiokarbonmethode (¹⁴C). Stellvertretend für die seit den 1950er-Jah-

Altersbestimmung – Methode	Einheit „Jahre“	„Jahre“ vor heute	Gültigkeit und Grenzen (z. T. nach KOTULLA 2014)
Radiokarbon-Methode (radiometrisch)	^{14}C -Jahre (kalibriert)	12 916	relativ, nicht verifiziert (Langchronologien)
Argon/Argon-Methode (radiometrisch)	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Jahre	12 900	relativ, nicht unabhängig
Warvenzählung (warvenchronologisch)	Warvenjahre	12 880	l. d. R. in ^{14}C -Altersrahmen eingepasst: nicht unabhängig, nicht absolut (Langchronologien)

Tab. 1 Angewandte Altersbestimmungsmethoden zur „Datierung“ der Laacher-See-Eruption. Die übereinstimmenden Ergebnisse – etwa 12 900 Jahre vor heute – (hier ohne Fehlergrenzen) vermitteln eine gesicherte Bestimmung. Dies ist aber – mit Blick auf die Gültigkeit der jeweiligen Methode und der Abhängigkeit der Ergebnisse – nicht der Fall (siehe Textteil).

ren zahlreich durchgeführten ^{14}C -Analysen werden die häufig zitierten Ergebnisse von BAALES et al. vorgestellt. Die Proben stammten von im Bims aufrechtstehenden, verkohlten Bäumen (in situ) bei Kruft, wenige Kilometer östlich des Laacher Sees. Ihr mittleres Alter von $11\,065 \pm 20$ ^{14}C -Jahren BP (before present; vor heute, bezogen auf 1950) wurde unter Anwendung einer Eich- bzw. Kalibrierungskurve zunächst zu 13 050–13 190 cal. (kalibrierten) ^{14}C -Jahren BP umgerechnet (BAALES et al. 1999¹¹). In der Folge kalibrierten die Autoren mit einem eigenen Ansatz das nunmehr gewichtete Mittel von $11\,062 \pm 11$ ^{14}C -Jahren BP zu 12 916 cal. ^{14}C -Jahren BP (BAALES et al. 2002¹²) – gerundet und mit Kalenderjahren gleichgesetzt 12 900 Jahre vor heute.

Bevor die ^{14}C -Alter (in einer Größenordnung von +10–20 %) kalibriert wurden, wurde das (konventionelle) ^{14}C -Alter mit Kalenderjahren gleichgesetzt. So galt bis etwa Mitte der 1990er-Jahre als Ausbruchzeitpunkt ca. 11 000 [^{14}C -] Jahre vor heute. Je nach Kalibrierungsansatz und -methode erfolgte bis 1999 eine phasenweise Erhöhung bis zu ca. 13 000 [cal. ^{14}C -] Jahren vor heute (Tab. Z3).

Die Kalibrierungsversuche alleine zeigen bereits auf, dass die Radiokarbonmethode eine relative Altersbestimmungsmethode ist. Sie bedarf einer unabhängigen Verifizierung durch Objekte oder Ereignisse bekannten Alters; die jahrring- bzw. dendrochronologische Kalibrierung erfüllt diese Voraussetzungen nicht, da sie selbst einer unabhängigen Verifizierung bedarf. Zudem sind die für die Erstellung der Jahrring-Langchronologien verwendeten Hölzer ^{14}C -vordatiert. Demzufolge sind ^{14}C -Alter dieser Größenordnung (ob dendro- oder teilweise „Jahreslagen“-kalibriert¹³, s.u.) nicht wirklich verifiziert; das Verhältnis von ^{14}C -„Jahren“ der hier diskutierten Größenordnung zu Real-Jahren ist nicht bekannt (s. KOTULLA 2014).

Mit keiner der angewendeten Altersbestimmungsmethoden kann ein absolutes und verifiziertes Alter geliefert werden.

Unter Anwendung der warvenchronologischen Methode. Ende der 1980er-Jahre sind für die laminierten Sedimente des Holzmaars und des Meerfelder Maars Warvenchronologien erstellt worden (ZOLITSCHKA 1988, 1990). Dass es sich bei der Laminierung der Seesedimente um eine jährliche Prägung (Warvierung) handele, habe mit Bezug auf die Laacher-See-Tephra durch die gute Übereinstimmung der ermittelten Warvenjahre (11 200) mit ihrem bekannten Alter (11 000 Jahre vor heute, s. o.) Bestätigung gefunden: Die „Jahresschichten-Natur wird durch die korrekte Datierung der gut bekannten Isochrone der Laacher-See-Tephra bestätigt (...)“ (ZOLITSCHKA 1991, 59). In den Folgejahren allerdings wurde das warvenchronologische („absolute“) Alter der Laacher-See-Tephra in der Holzmaar-Langchronologie von den Bearbeitern nach und nach erhöht, von 11 200, auf 12 398, 12 560 und zuletzt 12 880 Warvenjahre BP (Tab. Z4). Das gleiche geschah mit der Meerfelder-Maar-Chronologie (Tab. Z5). Die Anpassungen¹⁴ erfolgten durch Einpassung in den jeweils gültigen (kalibrierten) ^{14}C -Altersrahmen.¹⁵

Schon diese An- und Einpassungen zeigen, dass die warvenchronologische Methode keine absolute und keine unabhängige Altersbestimmungsmethode ist. ZOLITSCHKA hat weder gesamthaft noch im Einzelfall den Nachweis einer Jahresschichtung (Warvierung) der Seesedimente erbracht¹⁶; als (vermeintlichen) Nachweis einer Jahresschichtung stellt er einen aufgestellten Idealzyklus vor (u. a. ZOLITSCHKA 1990, 40–42; 1998, 7–8). Das aber ist kein wirklicher Nachweis (s. KOTULLA 2014, 3–01 ff, u. a. Suigetsu-See).

Unter Anwendung der Kalium/Argon- (K/Ar) bzw. Argon/Argon-Methode (Ar/Ar): VAN DEN BOGAARD (1995) führte 40 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Analysen an Sanidin-Kristallen¹⁷ der oberen Laacher-See-Tephra durch. Seine ermittelten, sogenannten scheinbaren Alter der Einzelproben umfassen eine Spanne, die von $6,4 \pm 3,8$ bis 127 ± 2 Tausend $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Jahren reicht. Durch Bildung von vier Subpopulationen von Kristallen weist er Alter(sgruppen) von 127, 55, 25 und 12,9 (80 % der Analysen) Tausend $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Jahren¹⁸ aus. Das $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Eruptionsalter schätzt er abschließend auf $12\,900 \pm 560$ Jahre BP¹⁹ („korrigiert“ zu $13\,290 \pm 410$ Jahre BP²⁰); die Werte aber streuen von 6 400 bis 18 400 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Jahre.

30 Jahre zuvor waren von FRECHEN & LIPPOLT (1965) Datierungsversuche mit der K/Ar-Methode unternommen worden; sie ermittelten für zwei Sanidin-Proben ein K/Ar-Alter von $0,23 \pm 0,03$ bzw. $1,51 \pm 0,1$ Millionen Jahre. Das zu hohe Alter begründeten sie mit überschüssigem (ererbtem) radiogenem Argon: „Wahrscheinlich wurde hierbei [rasche Ausbrüche, MK] nicht alles radiogene Argon ausgetrieben“ (S. 26). Seit VAN DEN BOGAARD (1995) sind keine $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Analysen publiziert worden; es bleiben auch die ungeklärten, widersprüchlichen Ergebnisse zu FRECHEN & LIPPOLT (1965).

Die $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Methode allerdings ist ebenfalls eine relative Datierungsmethode (JOURDAN et al. 2014). Die Alter werden auf einen Mineral-Standard „bekannten“ Alters zurück referenziert (z. B. Fish Canyon Tuff, ca. 28 Mio. [radiometrische] Jahre). Des Weiteren erfolgen bei der Interpretation der Daten gegebenenfalls Korrekturen. So lieferte – RENNE et al. (1997) zufolge – die Datierung von Sanidin-Kristallen²¹ des historisch dokumentierten Ausbruchs des Vesuv im Jahre 79 n. Chr. ein übereinstimmendes Ergebnis: Ein $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter von 1925 ± 94 Jahren vor heute im Vergleich zu kalendarisch 1918 Jahren vor heute (jeweils bezogen auf 1997). Dieses prominent ausgewiesene $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter aber war zuvor korrigiert worden, nämlich um einen überschüssigen Argon-Anteil, der sich aus dem bekannten (wirklichen) Alter der Probe ermitteln ließ. Ohne diese Korrektur hätte das $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Verhältnis einem Alter von 3300 ± 500 Jahren entsprochen.

Schlussfolgerung

Das Ereignis der Laacher-See-Eruption ist fest in der mitteleuropäischen Quartärstratigraphie (Grenzbereich Pleistozän/Holozän) verankert. Die unternommenen Versuche, den Zeitpunkt des Ausbruchs mit verschiedenen Methoden zu bestimmen, zeigen, dass die Ergebnisse mehrfach aufeinander abgestimmt (synchronisiert) worden sind; führend dabei ist letztlich die Radiokarbonmethode. Es handelt sich demnach nicht um drei unabhängige Schätzungen (Tab. 1). Alle drei angewandten Methoden sind relativer Natur; keine Methode ist in der Lage, ein absolutes und verifiziertes Alter zu liefern. Die Bestimmung des Ausbruchszeitpunktes – ausgewiesen mit 12 900 Jahren – ist nicht nur unsicher, selbst die Größenordnung ist gegenwärtig nicht einmal bekannt.

Literatur

- BAALES M, BITTMANN F & KROMER B (1999) Verkohlte Bäume im Trass der Laacher See-Tephra bei Kruff (Neuwieder Becken). Ein Beitrag zur Datierung des Laacher See-Ereignisses und zur Vegetation der Allerød-Zeit am Mittelrhein. *Archäologisches Korrespondenzblatt* 28, 191–204.
- BAALES M, JÖRIS O, STREET M, BITTMANN F, WENINGER B & WIETHOLD J (2002) Impact of the Late Glacial eruption of the Laacher See volcano, Central Rhineland, Germany. *Quaternary Research* 58, 273–288.
- DAVIES SM, BRANCH NP, LOWE JJ & TURNER CSM (2002) Towards a European tephrochronological framework for Termination 1 and the Early Holocene. *Philosophical Transactions Royal Society, London A* 360, 767–802.
- FRECHEN J & LIPPOLT HJ (1965) Kalium-Argon-Daten zum Alter des Laacher Vulkanismus, der Rheinterrassen und der Eiszeiten. *Eiszeitalter und Gegenwart* 16, 5–30.
- JOURDAN F, MARK DF & VERATI C (2014) Advances in $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating: from archaeology to planetary sciences – introduction. In: JOURDAN F, MARK DF & VERATI C (Eds.) *Advances in $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating: from archaeology to planetary sciences*, 1–8, doi:10.1144/SP378.24.
- KOTULLA M (2013) Grönländische Eiskerndaten und ihre Interpretation: Absolute Datierung durch Zählung von Jahresschichten? W+W Special Paper G-13-1, Baisersbrunn; <http://www.wort-und-wissen.de/download.html>.
- KOTULLA M (2014) Gültigkeit und Grenzen geologischer Zeitbestimmung. Online-Loseblattsammlung, Stand: 1. Ergänzungslieferung 03/2014; <http://www.wort-und-wissen.de/loseblattsammlung.html>.
- LANE CS, BRAUER A, MARTIN-PUERTAS C, BLOCKLEY SPE, SMITH VC & TOMLINSON EL (2015) The Late Quaternary tephrostratigraphy of annual laminated sediments from Meerfelder Maar, Germany. *Quaternary Science Reviews* 122, 192–206.
- PARK C & SCHMINCKE H-U (1997) Lake formation and catastrophic dam burst during the Late Pleistocene Laacher See eruption (Germany). *Naturwissenschaften* 84, 521–525.
- PARK C & SCHMINCKE H-U (2009) Apokalypse im Rheintal. *Spektrum der Wissenschaft* 02, 78–87.
- RENNE PR, SHARP WD, DEINO AL, ORSI G & CIVETTA L (1997) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating into the historical realm: calibration against Pliny the Younger. *Science* 277, 1279–1280.
- SCHMINCKE H-U (1970) „Base surge“-Ablagerungen des Laacher-See-Vulkans. *Aufschluss* 21, 359–364.
- SCHMINCKE H-U (2013) *Vulkanismus*. 4. Auflage, Darmstadt.
- VAN DEN BOGAARD (1995) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of sanidine phenocrysts from Laacher See Tephra (12,900 yr BP): Chronostratigraphic and petrological significance. *Earth and Planetary Science Letters* 133, 163–174.
- WÖRNER G & SCHMINCKE H-U (1984) Petrogenesis of the zoned Laacher See Tephra. *Journal of Petrology* 25, 836–851.
- ZOLITSCHKA B (1988) Spätquartäre Sedimentationsgeschichte des Meerfelder Maars (Westefel) – Mikrostratigraphie jahreszeitlich geschichteter Seesedimente. *Eiszeitalter u. Gegenwart* 38, 87–93.
- ZOLITSCHKA B (1990) Spätquartäre jahreszeitlich geschichtete Sedimente ausgewählter Eifelmaare. *Documenta naturae* 60, 1–226.
- ZOLITSCHKA B (1991) Absolute dating of late Quaternary lacustrine sediments by high resolution varve chronology. *Hydrobiologica* 214, 59–61.
- ZOLITSCHKA B (1998) Paläoklimatische Bedeutung laminierter Sedimente. Holzmaar (Eifel, Deutschland), Lake C2 (Nordwest-Territorien, Kanada) und Lago Grande di Monticchio (Basilicata, Italien). *Relief Boden Paläoklima* 13, 1–176.

Fossiler Hinweis auf komplexe Brutpflege bei Gliederfüßern im Silur?

Aus der Lagerstätte Herefordshire (England, an der Grenze zu Wales) wurden bereits viele Fossilien z.T. mit Weichteilerhaltung aus dem Silur beschrieben (BRIGGS et al. 2008). Die Autoren hatten seit 1996 in der Fossilagerstätte aus einer Aschelagerunde, mit Kalzit gefüllte Konkretionen (Durchmesser: wenige Zentimeter) geborgen; diese enthielten häufig Fossilien.

Um die Fossilien möglichst detailliert darzustellen, haben die Autoren eine spezielle Methode entwickelt. Dabei haben sie die halbierten Konkretionen in sehr dünnen Schichten abgeschliffen und die jeweilige erkennbare Struktur des Fossils digital aufgenommen. Diese Schichtaufnahmen werden dann anschließend mit einem Computerprogramm bearbeitet, sodass ein hochauflösendes 3-dimensionales Bild des Fossils entsteht (Abb. 1) – das Fossil selbst wird bei der Prozedur allerdings zerstört.

Aus den genannten Sammlungen haben nun BRIGGS et al. (2016) einen bisher unbekannten Gliederfüßer mit auffälligen Anhängen beschrieben. Die Autoren wurden durch das Fossil an den Roman „Der Drachenläufer“ des afghanisch-amerikanischen Schriftstellers Khaled HOSSEINI erinnert und nannten es *Aquilonifer spinosus* (auf deutsch etwa: dorniger Drachenträger). Der Kopf des Drachenträgers ist durch einen Kopfschild geschützt, und am Kopf sind neben zwei auffälligen antennenartigen Fühlern noch dornenartige Anhänge erkennbar. Hinweise auf Augen fanden die Autoren nicht. Die Rückenschilde (Tergite: Chitinplatten des Außenskeletts) am Körperende sind über fadenförmige Strukturen mit 10 kleinen (0,5–2 mm) Kapseln verbunden (diese vermitteln den Eindruck von Drachen). Diese Kapseln deuten die Autoren als Embryonen, die sich in unterschiedlichen Entwicklungsstadien befinden. Trifft diese

Deutung zu, dann weist *A. spinosus* ein besonderes Brutverhalten auf, das bei anderen Gliedertieren nicht zu finden ist. Von diesen sind zwar ebenfalls Vorkehrungen zum Schutz der Eier bzw. der Brut beschrieben, jedoch ist die beim Drachenträger gefundene Form bisher einzigartig.

Aufgrund der untersuchten Merkmale charakterisieren BRIGGS et al. *A. spinosus* als neue Gattung und Art der Mandibeltiere (Mandibulata), zu denen u.a. auch die Krebstiere (Crustacea), Tausendfüßer (Myriapoda) und Insekten (Insecta) gehören. Zur erstaunlichen Besonderheit dieser Tiere, deren Lebensraum die Autoren im Wasser vermuten, gehört, dass die Nachkommen zunächst mit einem erwachsenen Tier (ob Männchen oder Weibchen, ist nicht bekannt) verbunden sind.

Damit zeigt das von BRIGGS und seinen Mitarbeitern beschriebene Fossil, dass Formen komplexer Brut-

pflege bereits früh (Silur) ausgebildet sind – auch solche, die wir gegenwärtig nicht beobachten können.

[BRIGGS DEG, SIVETER DJ, SIVETER DJ & SUTTON MD (2008) Virtual fossils from a 425 million-year-old volcanic ash. *Am. Sci.* 96, 474-481 • BRIGGS DEG, SIVETER DJ, SIVETER DJ, SUTTON DM & LEGG D (2016) Tiny individuals attached to a new Silurian arthropod suggest a unique mode of brood care. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* doi/10.1073/pnas.1600489113] H. Binder

Neues von den karbonischen Bärappbäumen

Ganz außergewöhnlich gebaut waren die Bärappbäume (Lepidophyten), die hauptsächlich aus karbonischen Sedimentgesteinen als Fossilien bekannt sind. Diese Bäume bildeten die Hauptmasse der kohlebildenden Vegetation im Oberkarbon mit 60–95 % der Biomasse der eingebetteten und zu Kohle umgewandelten Vegetation (HETHERINGTON et al. 2016);



Abb. 1 *Aquilonifer spinosus*.
(Wikimedia Commons)



Abb. 1 Der Karbonschwimmwald als Lebensraum artenreicher Flora und Fauna. Die basalen (Unterwasser-)Organe erweisen sich nun als noch deutlich stärker verflochten als bisher bekannt. (Zeichnung: Robert GEITER)

sie sind auch aus dem älteren Oberdevon und Unterkarbon bekannt. Die gute und häufige Erhaltung wird darauf zurückgeführt, dass die Bäume in „wasserdurchtränkten“ Biotopen wuchsen. Auch wenn es in der Fachwelt nicht vertreten wird, so sprechen doch sehr viele anatomische Besonderheiten dafür, dass diese Bäume schwimmende Wälder und

zusammen mit anderen Pflanzen ein ganz einzigartiges, heute nicht mehr existierendes Ökosystem bildeten (viele Belege dafür sind in JUNKER 2000 zusammengestellt; vgl. Abb. 1).

Mit bis zu 50 m Höhe hätten sie es locker mit heutigen Bäumen aufnehmen können, waren jedoch sehr schlank und besaßen nur schütterere Kronen, sodass ihr Bau fast stangenförmig war. Neben sonstigen anatomischen Besonderheiten sind besonders die langen, ziemlich waagrecht austreichenden basalen Organe, die sogenannten Stigmarien (Abb. 2), zu

nennen. In ihrer Anatomie glichen sie den Stämmen, sodass sie nicht als Wurzeln bezeichnet werden können. Die Stigmarien waren rundum flaschenbürstenartig mit Anhängseln (Appendices, vgl. Abb. 2) besetzt, die wie auch die Stigmarien hohl waren, an einer vorgebildeten Trennschicht abgeworfen werden konnten und 75 % und mehr der Pflanzenmasse des Stigmariensystems bildeten (PHILLIPS & DiMICHELE 1992, 569). Insbesondere das Abtrennen der rundum angeordneten Appendices könnte nicht verstanden werden, wenn die Bäume in mehr oder weniger festem Erdreich gestanden hätten.

Die als Abdrücke und in Torfdolomitknollen erhaltenen Appendices wurden kürzlich erneut genauer untersucht (HETHERINGTON et al. 2016). Bisher war angenommen worden, dass sie weitgehend unverzweigt waren. Nun stellte sich heraus, dass sie sehr komplex gebaut waren. Die Anhänge der Stigmarien waren bis zu vierfach gabelig verzweigt, so dass ca. 25 600 Würzelchen pro Meter Stigmarium ausgebildet waren (vgl. Abb. 3). Erstaunlicherweise entspricht ihr Bau damit weitgehend dem Bau bei der einzigen heute lebenden mit den Bärlappbäumen verwandten, aber krautförmigen

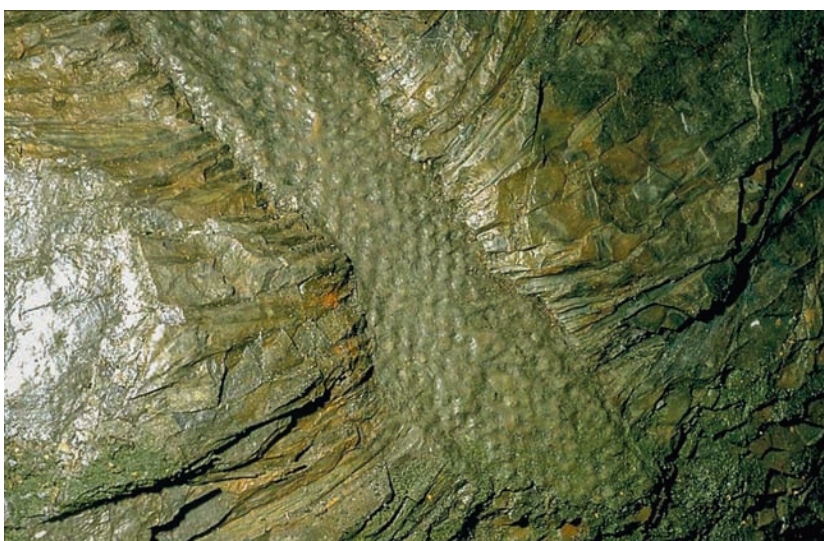


Abb. 2 Stigmare mit Abbruchnarben der Appendices und deren Abdrücke. (Steinbruch Rauen bei Witten, Foto: R. JUNKER)

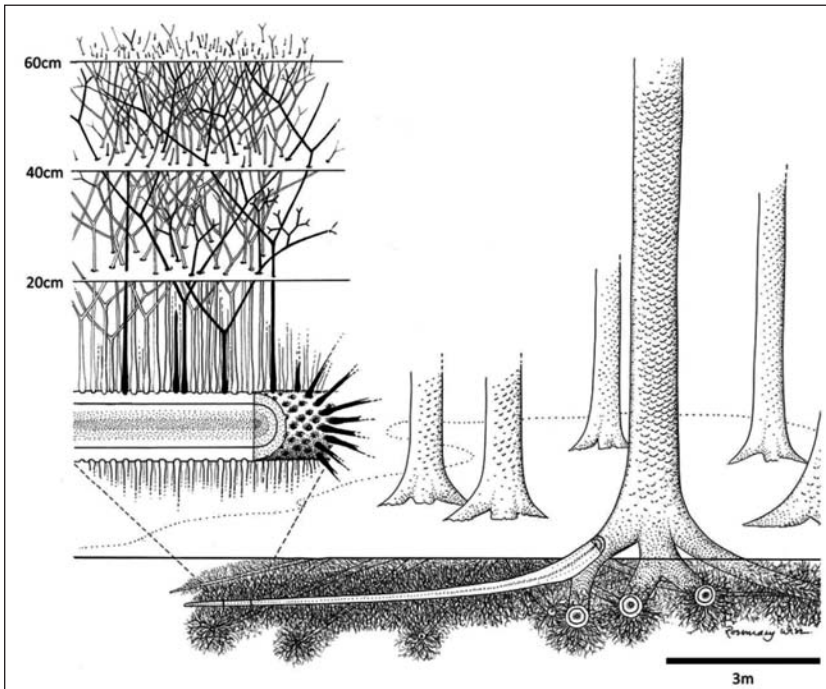


Abb. 3 Rekonstruktion von Stigmarien mit 4-5-fach verzweigten feinen Anhängseln, die bis zu 90 cm lang und wenige Millimeter dick waren. (Aus HETHERINGTON et al. 2016, © PNAS)

Gattung *Isoetes* (Brachsenkraut). Die Architektur der basalen Organe von *Isoetes* ist so ähnlich, dass HETHERINGTON et al. (2016) schließen, dass sich dieses System seit der Karbonzeit unverändert erhalten hat. Die kleinwüchsigen Brachsenkräuter leben als Wasser- oder Sumpfpflanzen in Seen, Teichen, Flüssen, Sumpfbereichen und in kurzlebigen Pfützen (GIFFORD & FOSTER 1989, 154).

Die verzweigten Anhänge der Stigmarien sind bis zu 90 cm lang und ermöglichten eine gute Verankerung – so HETHERINGTON et al. (2016). Es könnte aber auch sein, dass sie zur Vernetzung und Stabilität beitrugen, falls es sich um Schwimmwälder gehandelt hat, wofür wie erwähnt zahlreiche Indizien sprechen, die kaum mit einem Wuchs in festem Boden vereinbar sind. Dazu passt, dass die Stigmarien bis zu 12 Meter ausstrichen, mit Nachbar-Stigmarien verflochten waren und die Bäume sehr dicht standen (HETHERINGTON et al. 2016, 4).

[GIFFORD EM & FOSTER AS (1989) Morphology and evolution of vascular plants. 3rd ed. New York • HETHERINGTON AJ, BERRY CM & DOLAN L (2016) Networks of highly branched stigmarian rootlets developed on the first giant trees. Proc. Natl. Acad. Sci. 113, 6695-6700 • JUNKER R (2000) Samenfarne, Bärlappbäume, Schachtelhalme. Pflanzenfossilien des Karbons in evolutionstheoretischer Perspektive. Studium Integrale. Holzgerlingen • PHILLIPS TL & DiMICHELE WA (1992) Com-

parative ecology and life-history biology of arborescent lycopsids in Late Carboniferous swamps of Euramerica. Ann. Miss. Bot. Gard. 79, 560-588] R. Junker

■ Wie viel Stillstand verträgt die Evolutionstheorie?

Von Paläontologen vielfach beschrieben wird die Beobachtung, dass bestimmte fossil überlieferte Arten über einen längeren Zeitraum bzw. in einer umfangreichen Abfolge von Sedimenten im Wesentlichen unverändert bleiben. Wenn solche Arten heute noch leben, nennt man sie „lebende Fossilien“. Dieses Phänomen wird als evolutionäre „Stasis“ (Stillstand) bezeichnet. Manchmal werden solche Befunde als Argumente gegen Evolution gewertet. Allerdings gibt es auch unter Annahme einer evolutiven Entstehung der Arten keinen „Evolutionsschwund“; daher steht Stasis nicht notwendigerweise im Widerspruch zu einer Evolutionsgeschichte der Lebewesen.

Stasis kann dennoch zum Problem für die Theorie von einer allgemeinen Evolution werden, wenn sie 1. vorherrschend ist und 2. auch dann beobachtet wird, wenn es massive Umweltänderungen gegeben haben muss. Denn üblicherweise wird Stasis damit erklärt, dass die betreffenden Arten in konstanten Umwelten leben

bzw. gelebt haben, folglich ohne nennenswerten Wechsel von Selektionsbedingungen, und es daher keinen Druck zur Veränderung gegeben hat. Unter stark wechselnden Umweltbedingungen wird evolutionär dagegen eher ein Formenwandel erwartet.

Von einem ausgesprochen hartnäckigen Fall von Stasis berichtet der Paläontologe Donald R. PROTHERO auf dem Blog skeptical.com (PROTHERO 2012; dort finden sich Angaben zu Fachartikeln). Er schreibt (in teilweise freier Übersetzung): „Bei vier der größten Veränderungen von Klima und Vegetation der letzten 50 Millionen Jahre zeigen die Säugetiere und Vögel keine beobachtbare Veränderung als Antwort auf das veränderte Klima. Wo immer ich diese Daten vorstelle, hat bisher niemand (ich eingeschlossen) eine gute Erklärung für eine solche verbreitete Stasis trotz der offensichtlichen Selektionsdrücke durch verändertes Klima.“

Das letzte Beispiel von den vier, die PROTHERO anführt, sind die letzten 2 Millionen (radiometrischen) Jahre der Eiszeit mit dramatischen Klimaänderungen, die jedoch nicht zu Artbildungen führten, sondern zu Wanderungen der betroffenen Tiere in andere Gegenden. Eine detaillierte Analyse der fossilen Fauna von La Brea bei Los Angeles ergab: „Keines der allgemein vorkommenden eiszeitlichen Säugetiere und Vögel reagierte auf irgendwelche Klimaänderungen bei La Brea während der letzten 35 000 Jahre.“

Das sind eindrucksvolle Bestätigungen für die Aussagen des 1972 veröffentlichten Klassikers von Niles ELDREDGE und Stephen Jay GOULD über die Hypothese des „unterbrochenen Gleichgewichts“ („punctuated equilibrium“; auch als Punktualismus bekannt). PROTHERO schrieb seinen Beitrag anlässlich des 40-jährigen Jubiläums der Veröffentlichung dieses Artikels. GOULD & ELDREDGE (1977) machten fünf Jahre nach der Veröffentlichung ihres bahnbrechenden Artikels eine erste Bestandsaufnahme und kamen – in den Worten von PROTHERO – zu folgendem Ergebnis: „Die erste große Entdeckung war, dass Stasis weitaus vorherrschender im Fossilbericht ist als es zuvor vorausgesagt worden war.“



Abb. 1 Rekonstruktion des Hakenrüsslers *Eokinorhynchus rarus* von verschiedenen Seiten. (Künstlerische Darstellung von Dinghua YANG, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology; aus ZHANG et al. 2015, Creative commons licence)

Viele Paläontologen meldeten sich und zeigten auf, dass die geologische Literatur ein einziges gewaltiges Monument der Stasis sei und es nur relativ wenige Fälle gebe, in denen jemand eine graduelle Evolution beobachtet hätte.“

GOULD & ELDREDGE (1993) nahmen auch das 20-jährige Jubiläum ihres Artikels von 1972 zum Anlass für eine weitere Bilanz und resümieren: „Weil Arten während so intensiver klimatischer Änderungen wie eiszeitlichen Abkühlungen oft stabil bleiben, muss Stasis als aktives Phänomen betrachtet werden, nicht als eine passive Antwort auf unveränderte Umwelten.“ Das ist das Gegenteil von dem, was mit dem Konzept der Stasis ursprünglich verknüpft wurde.

Für PROTHERO ist dieser komplett unerwartete, weit verbreitete Befund übrigens kein Grund zur Irritation. Es sei gut, wenn wir statt Antworten mehr Fragen hätten. Wissenschaft komme voran, wenn wir bisher unbekannte Dinge entdecken und merken, dass unsere bisherigen einfachen Antworten nicht funktionieren. Soweit PROTHERO. Aber es besteht auch die Möglichkeit, dass eine

falsche Spur verfolgt wird. Hat der *systematische* Befund der Stasis seinen Grund darin, dass der Evolvierbarkeit Grenzen gesetzt sind und eine Fehleinschätzung der real verflochtenen Zeit vorliegt?

[PROTHERO DR (2012) Darwin's Legacy. <http://www.skeptic.com/eskeptic/12-02-15/#feature> • ELDREDGE N & GOULD SJ (1972) Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. In: SCHOPF T (ed) Models in paleobiology. Freeman, Cooper and Co., San Francisco, pp 82-115 • GOULD SJ & ELDREDGE N (1977) Punctuated equilibria: the tempo and mode of evolution reconsidered. Paleobiology 3, 115-151 • GOULD SJ & ELDREDGE N (1993) Punctuated equilibrium comes of age. Nature 366, 223-227] R. Junker

■ Hakenrüssler (Kinorhyncha) – ein weiterer Tierstamm der „kambrischen Explosion“

Eine große Anzahl ganz verschiedenartiger Tierstämme ist fossil erstmals im unteren Kambrium dokumentiert. „Diese geologisch abrupte und spektakuläre Überlieferung von frühem tierischem Leben wird kambrische Explosion genannt“ (ERWIN & VALENTINE 2013, 5). In den letzten Jahren wurden immer wieder fossile Formen im Unterkambrium entdeckt, die die kambrische Formenvielfalt weiter vergrößerten. Dazu gehört seit kurzem auch der Stamm der Hakenrüssler (Kinorhyncha). Es handelt sich dabei um winzige wurmartige, segmentierte und mit hohlen Stacheln und gegliederten Platten ausgestattete Organismen, die maximal kaum einen Millimeter groß werden. Der im Querschnitt dreieckige bis kreisförmige Körper ist in Kopf (sog. Introvert), Hals und Rumpf mit 11 Segmenten gegliedert. Bislang waren sie fossil noch gar nicht bekannt. In der heute lebenden Fauna sind sie mit ca. 240 Arten vertreten und weltweit aus Sand und Schlack der Meere bekannt, aus der Gezeitenzone bis in mehreren Tausend Metern Tiefe. Da verwandte Tierstämme wie die Priapswürmer aus dem Kambrium bereits bekannt waren, ist die Entdeckung der Hakenrüssler in kambrischen Sedimenten nicht überraschend (ZHANG et al. 2015).

Die etwa 2 mm langen Kinorhyncha-Fossilien (vgl. Abb. 1)

wurden in der Provinz Sichuan in China entdeckt, in Schichten, aus denen auch die sogenannte small-shelly-Fauna bekannt ist (s. u.); datiert auf 535 Millionen radiometrische Jahre.

Ähnlichkeiten der neu entdeckten Arten (von denen nur *Eokinorhynchus rarus* einen Artnamen erhielt) mit heute lebenden Hakenrüsslern umfassen die hohlen Stacheln in fünf Paaren und den Aufbau des Körpers in Ringsegmenten (Hautfalten) mit gegliederten Platten. Sie unterscheiden sich aber auch deutlich in einigen Merkmalen von heute lebenden Arten, z. B. in der Zahl der Segmente (20 statt 11) und der Größe, Form und Anordnung der Stacheln (ZHANG et al. 2015, 5).

ZHANG et al. (2015, 5) stellen eine mögliche Verbindung zur sogenannten small-shelly-Fauna (SSF) her. Dabei handelt es sich um vielfältige winzig kleine (< 2 mm) beschaltete Fossilien, die in phosphathaltigen Sedimenten des Unterkambriums vorkommen. Möglicherweise können manche von ihnen den Kinorhyncha oder ähnlichen Formen zugeordnet werden.

Auf der Basis gestaltlicher Merkmale werden die Kinorhyncha mit den Priapulida (Priapswürmer) und Loricifera (Korsettierchen) zu den Scalidophora zusammengefasst. Diese wiederum werden mit den Nematoda (Fadenwürmer und andere Formen) zu den Cycloneuralia gestellt, welche die Schwesterngruppe der Panarthropoda (Gliederfüßer) bilden. Die Verwandtschaftsverhältnisse sind wegen inkongruenter Merkmalsverteilungen unklar (ZHANG 2015, 4+5). Auch die phylogenetische Position von *Eokinorhynchus rarus* ist nicht klar bestimmbar.

Es beginnt also – auch in diesem Fall – nicht nur die Fossilüberlieferung abrupt (kambrische Explosion), sondern es sind auch die stammesgeschichtlichen Beziehungen unklar – beides Befunde, die evolutionstheoretisch nicht zu erwarten sind.

[ERWIN D & VALENTINE J (2013) The Cambrian Explosion. The construction of animal biodiversity. Greenwood Village, Colorado • ZHANG H, XIAO S et al. (2015) Armored kinorhynch-like scalidophoran animals from the early Cambrian. Sci. Rep. 5:1652; doi:10.1038/srep16521] R. Junker

■ Birkenspanner, Melanismus und springende Gene

Der Birkenspanner (*Biston betularia*, Abb. 1) ist ein häufig verwendetes Lehrbuchbeispiel dafür, wie aufgrund von Umweltbedingungen unterschiedliche Erscheinungsformen von Lebewesen (Morphen oder Phänotypen) selektiert werden können. Die hellen und dunklen Morphen von *B. betularia* können z. B. von Fressfeinden auf hellem bzw. dunklem Untergrund unterschiedlich gut wahrgenommen und erbeutet werden. Obwohl der Einfluss und die Reichweite von Selektionsfaktoren bis in die Gegenwart kontrovers diskutiert werden, ist hinreichend belegt, dass Vögel als Fressfeinde die Häufigkeitsverteilung der Birkenspanner in Abhängigkeit des entsprechenden Untergrundes beeinflussen.

Die genetischen Grundlagen für das Auftreten verschiedener Phänotypen von *B. betularia* sind bisher allerdings erst in Ansätzen bekannt. VAN'T HOF et al. (2011) konnten den Ort der genetischen Ursache für das Auftreten der dunklen Morphie durch einen Vergleich mit dem Seidenspinner (*Bombyx mori*) anhand von genetischen Markern auf dem Chromosom 17 auf einen Bereich von 200 Kilobasen (kb) eingrenzen. Die Autoren interpretierten die empirischen Befunde als Beleg dafür, dass ein Allel (Genvariante), das vor nicht langer Zeit („recent“) erstmals aufgetreten ist, für die dunklen Birkenspanner verantwortlich ist. Sie konnten damals zwar die Korrelation des Bereichs im Genom mit der farblichen Veränderung belegen, aber es war kein genetischer Zusammenhang mit der Melaninproduktion, also der Erzeugung des dunklen Pigments, erkennbar.

In einer neuen Untersuchung (VAN'T HOF et al. 2016) konnte nun nachgewiesen werden, dass die dunklen *B. betularia*-Formen durch ein springendes Gen (Transposon) verursacht werden. In diesem Fall haben die Autoren ein Transposon der Klasse II identifiziert, also einen mobilen DNA-Abschnitt, der seine Position im Genom selbständig verändern kann. In der Arbeit wird gezeigt, dass dieses Transposon

sich in dem zuvor beschriebenen Bereich des Chromosoms 17 in das erste Intron eines Gens mit der Bezeichnung *cortex* integriert. Das Transposon umfasst einen DNA-Strang mit 22kb, der sich in einen Abschnitt des *cortex*-Gens einbaut, der vor der Übersetzung (Translation) in das entsprechende Protein herausgeschnitten wird. Vom Protein Cortex ist aber nicht bekannt, dass es in irgendeinem Zusammenhang mit der Biosynthese des dunklen Pigments Melanin steht. Das *cortex*-Gen wird in bestimmten Larvenstadien in den embryonalen Flügelanlagen stark ausgeprägt (exprimiert). Das entsprechende Protein Cortex reguliert den Zellzyklus während der Entwicklung der Flügel in der Larve. Die genauen Details, wie diese Regulation die Pigmentierung beeinflusst, sind bisher jedoch nur wenig verstanden und werden weiter erforscht. In einem gleichzeitig erschienenen Artikel bestätigen NADEAU et al. (2016) jedoch, dass *cortex* in Schmetterlingen die Musterung der Flügel kontrolliert.

Aufgrund statistischer Untersuchungen von *cortex* in Birkenspannern kommen VAN'T HOF et al. (2016) zu dem Schluss, dass der Zeitpunkt, an dem das springende Gen sich an der neuen Position integriert hat, um das Jahr 1819 liegen soll. Sollte sich das bestätigen, dann hätte sich diese genetische Veränderung sehr rasch in der Population der Birkenspanner in der Gegend von

Birmingham bemerkbar gemacht, denn Mitte des 19. Jahrhunderts wurden die dunklen Morphen dort beobachtet und beschrieben.

Wenn sich die hier vorgestellten Untersuchungsergebnisse und deren Interpretation durch weitere Forschung bestätigen sollten, dann würde dieser Fall von Industriemelanismus zeigen, dass die verschiedenen Erscheinungsformen des Birkenspanners quasi vorprogrammiert sind und sich in einer Population rasch etablieren können.

[VAN'T HOF AE, EDMONDS N, DALIKOVA M, MAREC F & SACCHERI IJ (2011) Peppered moths has a singular and recent mutational origin. *Science* 332, 958-960 • VAN'T HOF AE, CAMPAGNE P et al. (2016) The industrial melanism mutation in British peppered moths is a transposable element. *Nature* 534, 102-105 • NADEAU NJ, PARDO-DIAZ C et al. (2016) The gene *cortex* controls mimicry and crypsis in butterfly and moths. *Nature* 534, 106-110.]
H. Binder

■ In 50 statt in 12 000 Jahren: Wiederholte Anpassungen bei Stichlingen

Der dreistachelige Stichling (*Gasterosteus aculeatus*) gehört seit Jahren zu den besonders intensiv untersuchten Modellorganismen. Er kommt in Küstengewässern und im Süßwasser der Nordhemisphäre vor. Interessant ist der ca. 10 cm lange Fisch unter anderem, weil er in verschiedenen Formen auftritt: Die im Meer lebenden Stichlinge besitzen seitliche



Abb. 1 Eines der berühmtesten Beispiele für (Mikro-)Evolution „in action“: Der Birkenspanner (*Biston betularia*); helle und melanistische Form in einer Collage.

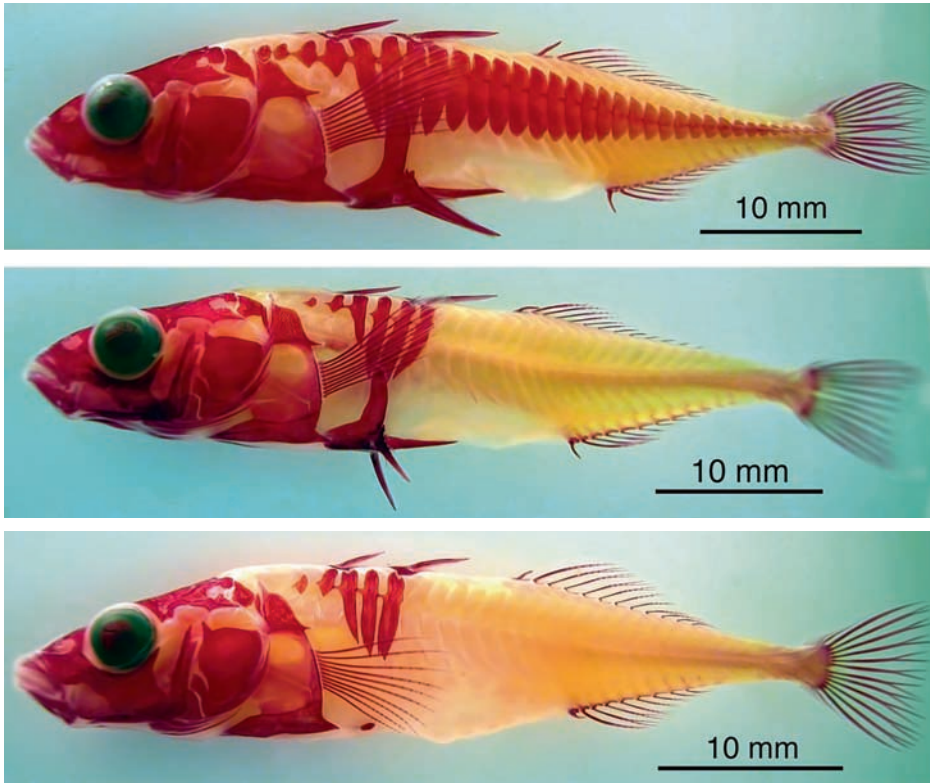


Abb. 1 Stichlinge verlieren im Süßwasser ihre knöchernen Panzerplatten (Mitte) sowie die Beckenstacheln (unten). (Aus PENNISI 2004)

Panzerplatten, z.T. mit stacheligen Auswüchsen, vermutlich ein Schutz vor Raubfischen. Die Süßwasser-Stichlinge dagegen besitzen entweder verkleinerte oder gar keine Seitenstacheln und Panzerplatten (Abb. 1), was mit dem geringen Angebot an Calcium für den Knochenaufbau oder mit dem Fehlen von nur im Meer lebenden Raubfischen zusammenhängen könnte. Einige genetische Grundlagen dieser Unterschiede fasst WINKLER (2005) zusammen. Die Entstehung der Süßwasserformen wird in der Phase des Rückzugs des Eises der Eiszeit vermutet, konventionell vor 12 000–20 000 Jahren. Im Meer lebende Stichlinge sollen demnach in Seen zurückgeblieben sein, die sich damals durch den Rückzug des Eises gebildet hatten. Im Laufe der Aussüßung der Seen konnten sich die Stichlinge an die neuen Bedingungen anpassen.

Nun konnten Wissenschaftler um Emily A. LESCAK von der University of Alaska Fairbanks und Susan L. BASSHAM von der University of Oregon in einer aufwändigen genetischen Studie zeigen, dass die Veränderungen bei den Süßwasserformen bereits in nur 50 Jahren auftreten, was 25–50 Generationen entspricht. Zugute kam den Forschern ein schweres

Erdbeben am 27. März 1964 im Gebiet der Südküste von Alaska. Es führte zur Heraushebung mehrerer Inseln im Prinz-William-Sund. Auf diesen entstanden Teiche mit Süßwasser. Der Dreistachelige Stichling konnte dort überleben, und über Flüsse wanderten auch Stichlinge aus dem Meer in die Süßwasserteiche ein oder sie gelangten durch Sturmfluten dorthin. LESCAK et al. (2015) berichten von Untersuchungen an Stichlingen von drei Inseln. Sie verglichen die Süßwasserformen mit den im Meer lebenden Fischen genetisch und nach ihrer äußeren Erscheinung (phänotypisch) und stellten fest, dass sich die Fische auf den Inseln „dramatisch“ im Vergleich zu ihren ozeanischen Vorfahren verändert haben. Die Merkmalsausprägungen der erst in den letzten 50 Jahren entstandenen Süßwasserformen unterscheiden sich kaum von den Merkmalen derjenigen Stichlinge, die andernorts schon seit mindestens 12 000 Jahren im Süßwasser leben. Anders ausgedrückt: Die phänotypische Divergenz ist nahezu identisch, gleichgültig ob die Formen in den letzten 50 oder in mindestens 12 000 Jahren entstanden sind. Die genetischen Unterschiede sind allerdings deutlich geringer. Die Untersuchungen zeigten, dass die

Formen auf den neu entstandenen Inseln nicht von anderen Süßwasserformen abstammen, sondern mindestens sechs Mal unabhängig auf die ozeanischen zurückgehen. Außerdem konnten die Forscher nachweisen, dass die Veränderungen tatsächlich auf Unterschieden im Erbgut beruhen und nicht Folge phänotypischer Plastizität sind. Plastizität ist die Fähigkeit, ausgelöst durch verschiedene Umweltreize unterschiedliche gestaltliche Ausprägungen hervorzubringen, und das auf der Basis desselben Erbguts.

Auf den neuen Inseln leben nach wie vor auch Formen, die den ozeanischen Fischen ähneln, und es kommt auch zu Vermischungen der verschiedenen Formen. Die Inselpopulationen bekommen offenbar immer wieder Zuwachs aus dem Meer.

Da die Veränderungen bei den Süßwasserformen mehrfach in ähnlicher Weise auftreten, vermuten die Forscher, dass die ozeanischen Formen einen großen Pool an genetischer Variation besitzen, der unter Süßwasserbedingungen schnell genutzt werden kann. LESCAK et al. (2015) folgern aus ihren Ergebnissen außerdem, dass auch in den älteren Süßwasserpopulationen die Veränderungen bereits in den ersten Generationen eingetreten sind. Die Autoren schließen: „Wenn die Befunde bei den Stichlingen auf andere Systeme verallgemeinert werden können, könnte rasche Evolution unter natürlichen Verhältnissen verbreiteter sein als bisher nachgewiesen.“ Die Autoren erwähnen einige weitere Beispiele dieser Art. Das Beispiel der Stichlinge zeigt, dass mindestens phänotypisch ein enormes Potenzial an Anpassungsmöglichkeiten in den Lebewesen angelegt sein kann. Man könnte diese Situation als Ausdruck einer Vorprogrammierung mit flexiblen Ausprägungsmöglichkeiten interpretieren.

[LESCAK EA, BASSHAM SL, CATCHEN J, GELMOND O, SHERBICK ML, VON HIPPEL FA & CRESKO WA (2015) Evolution of stickleback in 50 years on earthquake-uplifted islands. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 112, E7204–E7212 • PENNISI E (2004) Changing a fish's bony armor in the wink of a gene. *Science* 304, 1736–1739 • WINKLER N (2005) Über genetische Schalter bei Stichlingen. *Stud. Integr. J.* 12, 32–34] R. Junker

■ Amphibische Fische: Mindestens 33 Mal unabhängig entstanden

Bei Amphibien, also Tieren, die teils an Land und teils im Wasser leben, denkt man an Frösche, Kröten, Unken oder Salamander. Dass auch unter Fischen amphibisch lebende Arten vertreten sind, ist weniger bekannt; doch es gibt eine ganze Menge davon. Manche von ihnen verbringen nur einige Sekunden oder Minuten an Land, andere dagegen Stunden oder sogar Tage. Besonders bekannt unter Letzteren sind die Schlammpringer (Gattung *Periophthalmus*), die mehr Zeit an Land als im Wasser verbringen und dafür eine Reihe spezieller Bauplanbesonderheiten besitzen, oder die Aale, die längere Wanderungen auf Land durchführen können und dabei über die Haut atmen.

Wegen der besonderen Anforderungen für ein zeitweiliges Leben an Land könnte man denken, dass amphibische Fische auf evolutionem Wege eher selten entstanden sind; das bringt auch Terry ORD, der mit Georgina COOKE jüngst eine Studie über deren Vorkommen durchgeführt hat, explizit zum Ausdruck („Because of the challenges fish face in being able to breathe and move and reproduce on land, it had been thought this was a rare occurrence“, <http://phys.org/news/2016-06-fish-common-thought.html>). Doch schon COATES & CLACK (1995, 301) erwähnen, dass unter den Strahlflosser-Fischen, die nicht in eine Verbindung zum Landgang der Vierbeiner gebracht werden, 59 amphibisch lebende Arten aus 16 marinen (im Meer lebenden) und limnischen (im Süßwasserbereich vorkommenden) Familien bekannt seien, von denen keine vierbeinertypische Beine entwickelt hat.

In einer jüngst veröffentlichten detaillierten phylogenetischen Studie wiesen ORD & COOKE (2016) insgesamt sogar 130 amphibisch lebende Fischarten nach. Diese sind auf 33 Familien verteilt, und die Autoren interpretieren diesen Befund so, dass damit auch die Mindestanzahl einer unabhängigen (konvergenten) Entstehung amphibischer Fische bei 33 liegt. Vermutlich ist diese Zahl noch

deutlich höher, denn allein bei der genauer untersuchten Familie der Blenniidae schließen die Autoren auf eine siebenmalige konvergente Entstehung eines „in hohem Maße amphibischen Lebensstils“. Die Fischfamilien, bei denen es amphibische Arten gibt, sind ökologisch z.T. sehr unterschiedlich und kommen sowohl in Süß- als auch in Salzwasser vor.

Aus diesem unerwarteten Befund schließen die Autoren, dass die evolutive Entstehung der amphibischen Lebensweise nicht so schwer sein könne wie bisher angenommen, da sie sich so häufig ereignet habe. Diese Schlussfolgerung ist unlogisch. Denn die Häufigkeit des Vorkommens dieser Lebensweise hat mit der Frage, wie schwierig die dafür nötigen Voraussetzungen zu erfüllen sind, nichts zu tun. Schließlich war es beispielsweise auch nicht deshalb leichter als gedacht, eine Mondrakete zu bauen, weil das sowohl Russen als auch Amerikaner unabhängig geschafft haben. Vielmehr handelt es sich hier um einen evolutionären Zirkelschluss; er funktioniert wie folgt:

1. Eigentlich ist es für einen Fisch

schwierig, evolutiv eine amphibische Lebensweise zu entwickeln. 2. Daher ist zu erwarten, dass das nicht oft vorkommt. 3. Es kommt aber oft vor, daher kann es doch nicht so schwierig sein. Diese Logik funktioniert natürlich nur, wenn man Evolution schon voraussetzt. In Wirklichkeit ist der Befund des häufigen Vorkommens der amphibischen Lebensweise jedoch eine schwerwiegende Herausforderung für evolutionsbiologische Hypothesen, da auf der Basis zukunftsblinder Mechanismen ein vielfacher Übergang zu anspruchsvollen ähnlichen Fähigkeiten nicht zu erwarten ist.

Interessant sind die Ergebnisse von ORD & COOKE auch in einer weiteren Hinsicht. Die zahlreichen amphibischen Fischarten sind keine Vorstufen zu landlebenden Formen. Die amphibische Lebensweise von Fischen scheint also keinen Startvorteil für einen Übergang an ein dauerhaftes Landleben darzustellen, wie es bei den Landwirbeltieren verwirklicht ist. Auf dieses Paradox weist auch CLACK (2002, 103) in ihrer Monographie zum Ursprung der

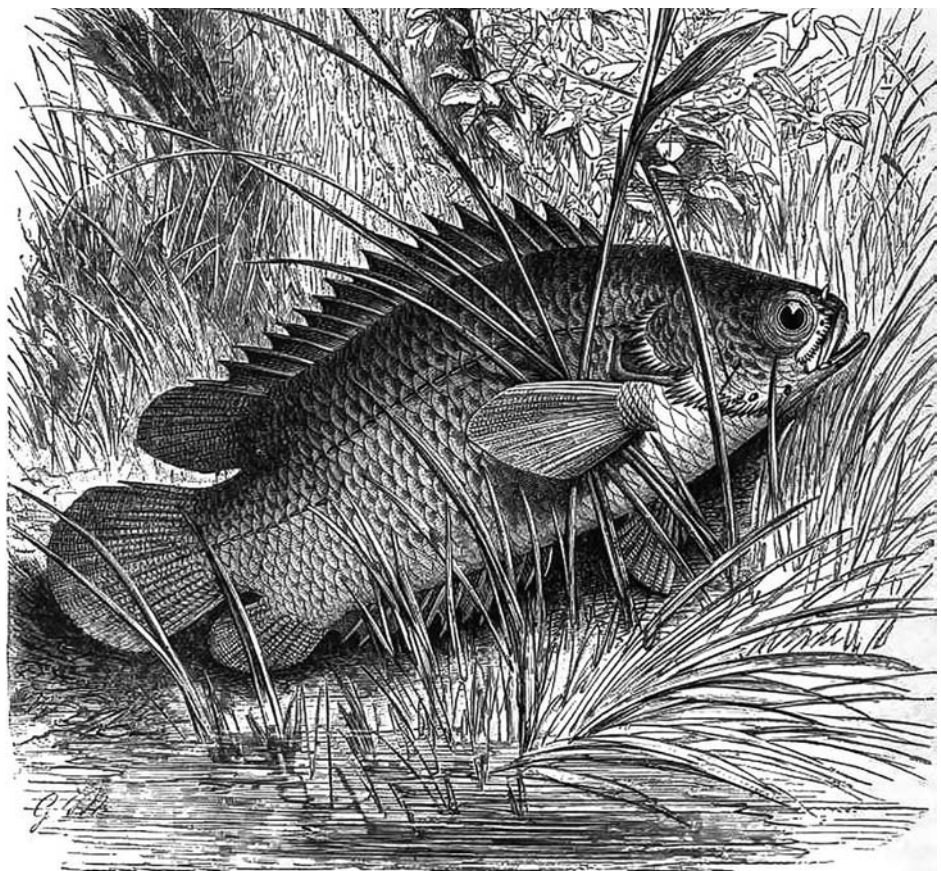


Abb.1 Ein Kletterfisch (*Anabas scandens*) verlässt das Wasser – ein Beispiel für einen amphibisch lebenden Fisch. Zeichnung von Richard LYDEKKER. *Anabas*-Arten können das Wasser verlassen und mit Hilfe ihrer Bauchflossen und der Kiemendeckel über Land kriechen.



Abb. 1 Die filigran gebaute Motte *Aenigmatinea glatzella* bringt in der Systematik einiges durcheinander. (Aus KRISTENSEN et al. 2015)

Landwirbeltiere hin: Es gibt Strahlflosser mit Anpassungen ans Landleben und solche, die fingerartige Strukturen von Flossenstrahlen ausgebildet haben. Diese zwei Gruppen überlappen sich nahezu nicht. Fische mit Fingern sollen – auch aus evolutionärer Sicht – nicht dauerhaft an Land gegangen sein, und solche, die es im evolutionären Verlauf geschafft haben sollen, zeitweise auf Land zu überleben, haben keine fingerartigen Strukturen an ihren Extremitäten.

[CLACK JA (2002) Gaining Ground. The origin and evolution of Tetrapods. Bloomington and Indianapolis • COATES MI & CLACK JA (1995) Romer's gap: tetrapod origins and terrestriality. In: ARSENAULT M, LELIÈVRE H & JANVIER P (eds) Studies on early vertebrates (VIth International Symposium, Miguasha Parc, Quebec). Paris: Bull. Mus. Natl. Hist. Nat. 17, 373-388 • ORD JJ & COOKE GM (2016) Repeated evolution of amphibious behavior in fish and its implications for the colonization of novel environments. *Evolution, early view*, doi:10.1111/evo.12971] R. Junker

■ Fragile Systematik bei Motten

Eine kleine Motte, letztes Jahr entdeckt auf der Kangaroo-Insel Südaustraliens, hat es in sich. *Aenigmatinea glatzella* ist so verschieden von bisher bekannten Arten, dass sie in eine neue Familie gestellt wurde, die Aenigmatineidae (Ordnung Lepidoptera, Schmetterlinge). Da-

mit ist erstmals seit 1970 eine neue Familie unter denjenigen Gruppen der Motten aufgestellt worden, deren Flügeladerung auf Vorder- und Hinterflügel ähnlich ist.

Die 4 mm langen Flügel der insgesamt kaum einen Zentimeter großen Motte sind mit gold- und purpurfarbenen Schuppen bedeckt und am Rand mit federartigen Fransen geschmückt (Abb. 1); die Motte ähnelt in ihrem Aussehen einer Köcherfliege. Entdeckt wurde die Motte nur an einer einzigen Stelle auf einer heimischen Zypresse (*Callitris gracilis*).

Der Fund ist bemerkenswert aufgrund der ungewöhnlichen Merkmalskombination von *Aenigmatinea*; dadurch erweist sich die Einordnung in einen evolutionstheoretischen Rahmen als schwierig – nicht umsonst ist es eine „Rätselmotte“. Anders als die meisten anderen gleichflügeligen Motten ernährt sich *Aenigmatinea* von den Trieben von Koniferen. Ihre Flügel und Genitalien werden als primitiv gewertet, die Mundwerkzeuge sind degeneriert, die Tiere haben keine Zunge (die Motten leben nur einen Tag). Eine Reihe von anderen morphologischen Merkmalen und eine genetische Analyse von 25 Genorten stellen *Aenigmatinea* jedoch zur Schmetterlings-Unterordnung der Glossata, sie ist demnach näher verwandt mit Motten, die eine Zunge

besitzen, weshalb bei *Aenigmatinea* ein sekundärer Verlust angenommen wird. Das hat zur Folge, dass einige Familien umgruppiert werden müssen, einige Merkmale verloren gegangen und andere mehrfach unabhängig entstanden sein müssen, wenn man die Merkmalsverteilung evolutionstheoretisch interpretiert.

Einmal mehr zeigt sich dadurch, dass es keine objektiven Kriterien für Ähnlichkeiten als „abstammungsverwandt“ (homolog) gibt, da manche bislang als homolog gedeutete Ähnlichkeiten nun zu Konvergenzen werden, obwohl sich an den Merkmalen selber nichts geändert hat. Überraschenderweise kann nun die Untergruppe der Myoglossata nicht mehr als monophyletisch (von einem nur ihnen gemeinsamen Vorfahren abstammend) angenommen werden. „Die neue Phylogenie erfordert eine zusätzliche Anzahl von *ad-hoc*-Annahmen von Konvergenzen oder Merkmals-Reversionen in der frühen Evolution der Lepidoptera“, stellen KRISTENSEN et al. (2015) fest.

Das Beispiel reiht sich in viele andere Fälle ein, in denen die Systematik oberhalb des Familienniveaus sehr anfällig für Veränderungen ist. Die Merkmalskonstellation einer einzigen neuen Art kann hier einiges durcheinanderbringen. Dagegen erweist sich die Systematik auf dem Niveau der Familie oft als relativ stabil.

Aus der Sicht der Grundtypenbiologie der Schöpfungsforschung bietet diese Situation eine interessante Perspektive. Wenn Familien Grundtypen entsprechen, ist auf diesem Niveau eine deutliche Abgrenzbarkeit zu erwarten, oberhalb des Familienniveaus kann es verschiedenste Merkmalskonstellationen geben, die gerade nicht mit einem klassischen evolutionären Baumschema wiedergegeben werden können. Das Auftreten sehr ähnlicher, aber konvergent entstandener Merkmale passt zur Vorstellung einer freien Kombinierbarkeit derselben auch in nahe verwandten Formengruppen oberhalb des Grundtyp-Niveaus.

[KRISTENSEN NP, HILTON DJ et al. (2015) A new extant family of primitive moths from Kangaroo Island, Australia, and its significance for understanding early Lepidoptera evolution. *Syst. Entomol.* 40, 5-16.] R. Junker

■ Radarblick in die grönländische Eisdecke

Seit über 20 Jahren werden von der Universität von Kansas mit dem Flugzeug Tiefenradarmessungen des grönländischen Inlandeises durchgeführt. Nun haben MACGREGOR et al. (2015) erstmals eine umfassende und datierte Radarstratigraphie des gewaltigen, bis zu über 3000 m dicken Eiskörpers präsentiert.

Die Radardaten aus den Jahren 1993–2013 umfassen über 500 Profile mit einer Gesamtlänge von fast 500 000 km. Primär dienten die Radarmessungen der Bestimmung der Eisdicke; die Beobachtung und Aufzeichnung der internen Reflexionen war ein eher sekundäres Ziel. Sie aber bilden die Grundlage der Radiostratigraphie. Mit diesem bildgebenden Verfahren können die Strukturen des Eiskörpers dargestellt werden (Abb. 1). Für die 3D-Konstruktion wurden nur ausgeprägte Reflexionen verwendet, die sich über eine Distanz von etwa 5 km und mehr verfolgen lassen.

Die zeitliche Eichung der Radiostratigraphie erfolgte über eine Verankerung mit den datierten Eiskernen, die durch Tiefbohrungen gewonnen wurden (Camp Century, DYE-3, GISP2, GRIP, NGRIP und NEEM; vgl. KOTULLA 2013a); ihre Lokalisationen waren durch zahlreiche Radarmessungen erfasst worden. Über zahlreiche Zwischenschritte wurden schließlich etwa 29 500 Reflexionen über alle Profile ausgewählt, mit über 1 800 eindeutigen, über den Eiskörper verteilten (vertikalen) Reflexionsabfolgen, die aus mindestens 10 Reflexionen, teilweise auch aus über 100 Reflexionen bestehen. Schließlich konnten, sekundär auch unter Zuhilfenahme eines Eisflussmodells, 77% der Reflexionen datiert und so die Altersstruktur des gesamten Eisschildes dargestellt werden (siehe die dem Artikel von MACGREGOR et al. beigefügten Animationen 2 und 3). Analog der Eiskernchronologie weisen sie drei Abschnitte aus (von oben nach unten): Postglazial (Holozän), Weichsel-Kaltzeit, Eem-Warmzeit (beide Pleistozän), s. Abb. 2. Die Altersangaben erfolgen in Jahren; z. B. soll die Holozän-Epoche vor 11 700

Jahren begonnen haben. Dies ist der Übernahme des eiskernchronologischen Altersmodells geschuldet; die von vermeintlichen „Jahresschichten“ im Eis abgeleiteten [Eiskern-] Jahre dürfen allerdings nicht mit Kalenderjahren gleichgesetzt werden (s. KOTULLA 2013b).

Das radiostratigraphische Modell erlaubt eine grobe Abschätzung der geographischen Verbreitung des teilweise stark gestörten, der Eem-Warmzeit zugewiesenen Eises auf dem Untergrund sowie eine überschlägige Berechnung der Eisevolumina, die den einzelnen „Kalt-/Warmzeiten“ zugeordnet werden, sog. „Altersvolumina“.

Mit Radardaten hatten zuvor BAMBER et al. (2013) die Identifizierung einer Schlucht unter der

grönländischen Eisdecke vermenden können, die größer als der Grand Canyon ist. Der „Mega-Canyon“ soll etwa 750 km lang und bis 800 m tief sein; durch ihn soll Schmelzwasser des Untergrundes und möglicherweise der Oberfläche in den Arktischen Ozean fließen.

[BAMBER JL, SIEGERT MJ, GRIGGS JA, MARSHALL SJ & SPADA G (2013) Paleofluvial Mega-Canyon beneath the Central Greenland Ice Sheet. *Science* 341, 997-999 • KOTULLA M (2013a) Grönländische Eiskerndaten und ihre Interpretation: Absolute Datierung durch Zählung von Jahresschichten? W+W Special Paper G-13-1, Baiersbrunn; <http://www.wort-und-wissen.de/download.html> • KOTULLA M (2013b) Eiskerndatierung: 100 000 Jahre und mehr? *Stud. Integr. J.* 20, 84-93 • MACGREGOR JA, FAHNESTOCK MA, CATANIA GA, PADEN JD, PRASAD GOGINENI S, YOUNG SK, RYBARSKI SC, MABREY AN, WAGMAN BM & MORLIGHAM M (2015) Radiostratigraphy and age structure of the Greenland Ice Sheet. *Journal of Geo-*

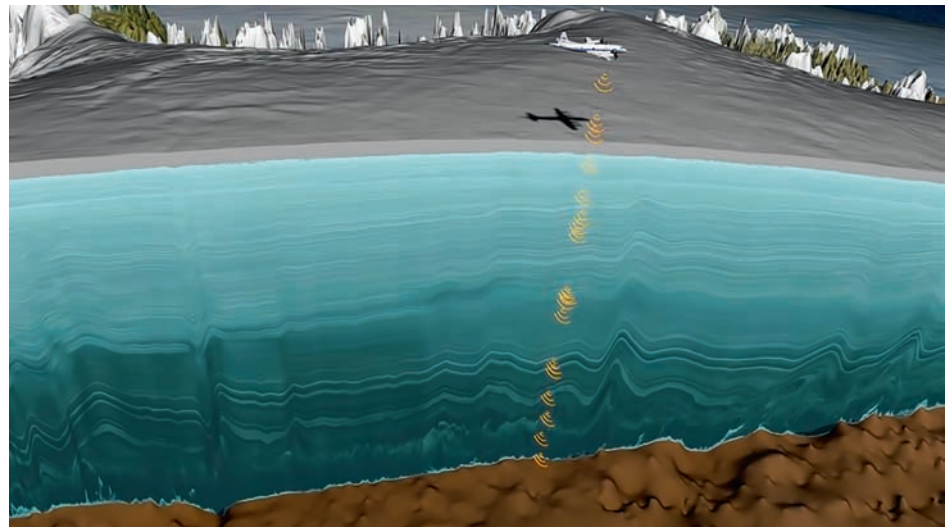


Abb. 1 Tiefenradarmessungen mit dem Flugzeug entlang einer vorgegebenen linearen Strecke (Profil). Das Radarogramm zeigt ausgeprägte Reflexionen, Eis-Schichtkörper, deren zeitgleiche Akkumulation (als Schnee) anzunehmen ist. Die Daten sind am 2. Mai 2011 im Rahmen der Operation IceBridge („Eisbrücke“, vgl. Web) gesammelt worden. Visualisierung C. STARR (Credit: NASA's Scientific Visualization Studio; <http://svs.gsfc.nasa.gov/4249>).

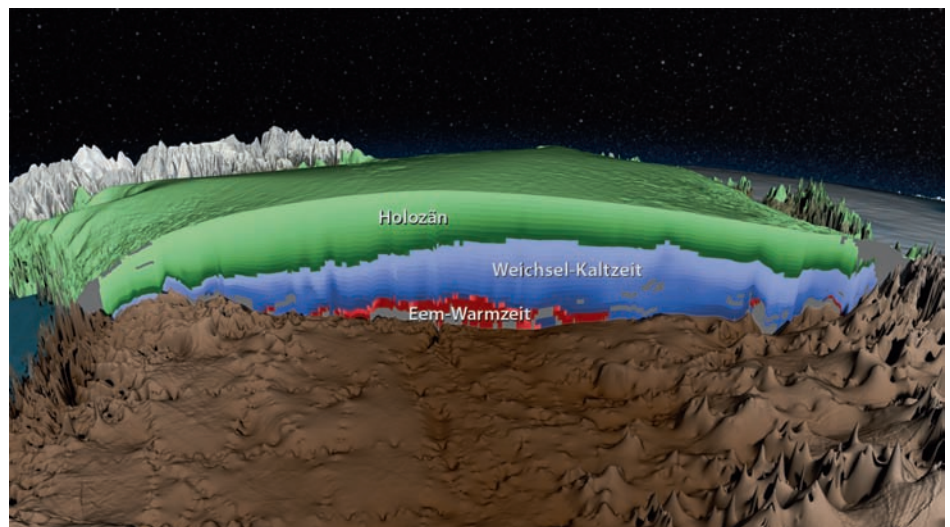


Abb. 2 Ein Querschnitt durch den grönländischen Eisschild mit Ausweis der Bildungsperioden (Ausschnitt eines Videos). Nach MACGREGOR et al. (2015). Visualisierung C. STARR (Credit: NASA's Scientific Visualization Studio; <http://svs.gsfc.nasa.gov/4249>).

physical research: Earth Surface 120, 212-241
 • NASA Scientific Visualization Studio (2015)
 Greenland Ice Sheet stratigraphy. ID 4249,
<http://svs.gsfc.nasa.gov/4249>.] M. Kotulla

■ Chemie der Lebensentstehung: Tiefseeschlote erneut als synthetisch produktive Orte modelliert

Hydrothermale Tiefseequellen, die schwarzen oder auch weißen Raucher im Bereich der Mittelozeanischen Rücken, tauchen seit ihrer erstmaligen Beschreibung Mitte der 1970er-Jahre regelmäßig in Szenarien zur Entstehung des Lebens auf. Die in dem bis zu über 400 °C heißen Wasser gelösten Mineralien werden ausgefällt, wenn die heiße Lösung durch Kontakt mit dem kalten Ozeanwasser (ca. 3 °C) rasch abkühlt und sich so der namengebende „Rauch“ bildet. Aus diesen ausgefallten Mineralien bauen sich dann mit der Zeit die Schlote auf, aus denen das stark aufgeheizte, mit Mineralien übersättigte Wasser aus der Tiefe an die Oberfläche des Ozeanbodens aufsteigt. Der poröse Aufbau dieser Schlote inspirierte Dieter BRAUN und seine Kollegen dazu, die Porenräume genauer zu studieren und die Auswirkungen von Temperaturgradienten in Röhren mit kleinen Querschnitten zu modellieren. Sie konnten zeigen, dass durch Thermophorese, also einem durch die Temperaturunterschiede verursachten Transport, kurze Nukleinsäuremoleküle in kapillaren Röhren angereichert werden können (BAASKE et al. 2007). Diese Erkenntnisse wurden ebenso zur Entwicklung technischer Geräte genutzt wie auch zum Etablieren von Mechanismen zur Anreicherung von Biomolekülen im Zusammenhang mit der Chemie zur Lebensentstehung (BINDER 2011, IMMING 2015).

Nun hat eine Gruppe von Wissenschaftlern ein solches thermophoretische System in einer Modellrechnung genutzt, um die Anreicherung von Formamid (NH₂CHO) zu modellieren (NIETHER et al. 2016). Formamid hat in den Spekulationen zu präbiotischen Synthesen von Biomolekülen eine lange Tra-

dition. Es lässt sich zwar analytisch fast überall nachweisen, jedoch in so geringen Konzentrationen, dass nicht nachvollziehbar ist, wie es bei der Synthese von Biomolekülen von Bedeutung sein kann. Die numerischen Modellierungen ergeben wie für die Nukleinsäuremoleküle unter entsprechenden Randbedingungen eine Anreicherung aus sehr verdünnten Formamidlösungen (10⁻³ Gewichts-%) auf 85 Gewichtsprozent. Bei Konzentrationen dieser Größenordnung scheint die Synthese z.B. von Stickstoffheterozyklen wie den Basen der Nukleinsäuren vorstellbar, wie die Autoren das im Titel ihrer Arbeit zum Ausdruck bringen.

Damit kann man die Veröffentlichung als ein weiteres Beispiel dafür betrachten, dass nur in begrenztem Umfang neue Erkenntnisse dokumentiert werden, diese aber durch die Verknüpfung mit dem die Fantasie anregenden Themenfeld der präbiotischen Lebensentstehung an prominenter Stelle erscheinen und damit die Chance haben, große Öffentlichkeitswirkung zu erzielen.

Bei einer kritischen Reflexion der Bedeutung der Thermophorese in porösen Schloten von heißen Tiefseequellen für die präbiotische Synthese von Biomolekülen bleibt eine Reihe von Fragen bisher unbeantwortet. Inwieweit spiegeln die modellierten Prozesse reale Abläufe in den Tiefseeschloten wider? Ist thermophoretische Anreicherung von Stoffen im Allgemeinen und organischer Verbindungen im Besonderen dort nachweisbar? Sollte das der Fall sein, dann erhebt sich weiter die Frage, ob dieser Anreicherungsprozess irgendeine Selektivität zeigt. Sollten sich die bisherigen Modellrechnungen bestätigen, dann scheint die Anreicherung eher allgemeinen Charakter zu haben. Das aber würde zu einer Lösung führen, die eine höhere Konzentration an *vielen* vorhandenen Chemikalien enthält und damit wenig zu einer *spezifischen* Synthese von erforderlichen Biomolekülen beitragen kann.

Insofern bleibt festzuhalten, dass thermophoretische Anreicherung in kapillaren Systemen ein sehr interessantes Phänomen ist, das technisch manche Anwendung ermöglicht.

Ob dieser Prozess tatsächlich in der Natur abläuft, bleibt ebenso zu zeigen wie auch, ob er das Potenzial hat, präbiotische Synthesen in irgendeiner Weise nachhaltig und spezifisch zu beeinflussen.

[BAASKE P, WEINERT FM, DUHR S, LEMKE KH, RUSSELL MJ & BRAUN D (2007) Extreme accumulation of nucleotides in simulated hydrothermal pore systems. Proc. Nat. Acad. Sci. USA 104, 9346-9351 • BINDER H (2012) Wurde die RNA-Welt am Grunde des Ozeans etabliert? Stud. Int. J. 19, 61-62 • IMMING P (2015) Schritte ungeplanter, un gelenkter Entstehung von DNA und RNA? Stud. Int. J. 22, 42-45 • NIETHER D, AFANASENKAU D, DHONT JKG & WIEGAND S (2016) Accumulation of formamide in hydrothermal pores form prebiotic nucleobases. Proc. Nat. Acad. Sci. USA 113, 4272-4277] H. Binder

■ Sortiermaschine für Nukleinsäuren – hilfreich zur Entstehung erster Erbinformation?

Die Arbeitsgruppe des Biophysikers DIETER BRAUN an der LMU München untersucht seit längerer Zeit den Einfluss von Temperaturgradienten auf wässrige Lösungen und wie sich die auftretenden Effekte auf die gelösten Stoffe auswirken (BINDER 2012, IMMING 2015). Ein Raum, in dem ein stabiles Temperaturgefälle etabliert ist, stellt physikalisch gesehen einen Nichtgleichgewichtszustand dar. Bei Gradienten, die nicht durch Energiezufuhr aufrechterhalten werden, gleichen sich die Unterschiede nach einer bestimmten Zeit aus und im gesamten Raum ist die Mischtemperatur messbar – ein Gleichgewicht hat sich eingestellt. Wird das Temperaturgefälle aufrechterhalten, so löst es z. B. in wässrigen Lösungen Konvektionsströme aus, die wir z. B. als Wärmewalzen in Kochtöpfen beobachten können. (Unten durch die Herdplatte aufgeheiztes Wasser, das aufgrund der geringeren Dichte zur Wasseroberfläche strebt und oben das relativ kältere Wasser, das aufgrund der größeren Dichte nach unten strebt. Dies kann zu sogenannten selbstorganisierten Strukturen, eben den Wärmewalzen, führen.) Außerdem neigen gelöste Stoffe dazu, sich im kälteren Bereich anzureichern. Bei Stoffen, die eine elektrische Ladung tragen, ist diese

Tendenz besonders stark ausgeprägt. Diesen letztgenannten Effekt bezeichnet man als Thermophorese oder auch als Soret-Effekt.

Gesteinsporen in heißen Tiefseequellen (sogenannte schwarze oder weiße Raucher) könnten ein natürliches Nichtgleichgewichtssystem mit einem etablierten Temperaturgradienten darstellen. Der Temperaturgradient kommt dadurch zustande, dass eine Seite der Porenwand durch heißes mineralhaltiges Wasser, das aus der Tiefe kommt, erhitzt und die andere Seite der Pore durch kaltes Ozeanwasser entsprechend gekühlt wird. Dieses Szenario hat BRAUN und seine Mitarbeiter dazu angeregt, in einem Labormodell diese Situation nachzustellen und zu untersuchen, wie sich z. B. Nukleinsäuremoleküle in der mit Wasser gefüllten Pore verhalten. Die teilweise erstaunlichen Effekte, die vermutete Übertragbarkeit des Labormodells auf natürliche Gegebenheiten und der mögliche Nutzen für die hypothetische Entstehung des Lebens wurden bereits kritisch diskutiert (BINDER 2012, IMMING 2015).

Nun haben MORASCH et al. (2016) in diesem Labormodell gezeigt, dass DNA-Moleküle sich aufgrund von kleinen Sequenzunterschieden (eine Base bei einem Polymer aus 36 Nukleotiden) auftrennen lassen und dass sie ohne weitere zugesetzte Chemikalien aufgrund der lokal erhöhten Konzentration

Gele bilden können. Dazu hatten die Autoren DNA-Moleküle aus 36 Nukleotiden synthetisiert, die so konzipiert (designed) worden waren, dass es innerhalb der Moleküle (intramolekular) zu komplementärer Basenpaarung kommt. Wenn sich aufgrund des Wärmeeinflusses die Basenpaare auftrennen, so sind einige Typen von DNA so gestaltet, dass sie sogenannte „klebrige“ Enden aufweisen. Diese ermöglichen es, dass sie sich mit DNA-Molekülen desselben Typs zu längeren Molekülaggregaten zusammenlagern und damit in der wässrigen Lösung ohne weitere Maßnahmen Gele bilden können. Diesen Prozess haben MORASCH et al. eindrucksvoll dokumentiert. In ihrem Fachartikel (MORASCH et al. 2016) spekulieren die Autoren darüber, dass vergleichbare Situationen („wärmegetriebene Fallen“) bei der Entstehung des Lebens weit verbreitet gewesen sein könnten. Sie behaupten, dass ihr Nichtgleichgewichtsmodell einen Beitrag dazu leisten könnte zu erklären, wie bei der Entstehung des Lebens sequenzspezifische Nukleinsäuremoleküle angereichert werden konnten.

Dabei bleibt natürlich zunächst einmal die Frage offen, inwieweit die hochkomplexe und spezifische Labortechnologie natürliche Prozesse bei der hypothetischen Selektion von Nukleinsäuremolekülen abbilden kann. Weiter ist zu bedenken, dass die Synthese von DNA-Strängen

mit 36 Nukleotiden bisher unter unspezifischen Bedingungen – wie sie für die Lebensentstehung angenommen werden müssen – nicht einmal ansatzweise gezeigt werden konnte. Eine Simulation mithilfe der sehr speziellen, intelligenten Techniken, wie sie im Labor von BRAUN und seinen Mitarbeitern genutzt wurden, ist von natürlichen Gegebenheiten weit entfernt. Selbst wenn all diese Fragen geklärt wären, bliebe immer noch zu bedenken, dass der vorgeschlagene Selektionsprozess zwar Unterschiede in der DNA-Sequenz für die Trennung und Anreicherung nutzen kann; aber die Relevanz der in dieser Sequenz abgebildeten Information bleibt unberücksichtigt. Diese ist aber im Blick auf das zu generierende lebende System von höchster Bedeutung. Die Titelformulierung in der Veröffentlichung der LMU – „Sortiermaschine des Lebens“ – erscheint unter den genannten Gesichtspunkten mehr als optimistisch.

[BINDER H (2012) Wurde die RNA-Welt am Grunde des Ozeans etabliert? Stud. Integr. J. 19, 61-62 • IMMING P (2015) Schritte ungeplanter, ungelenkter Entstehung von DNA und RNA? Stud. Integr. J. 22, 42-45 • MORASCH M, BRAUN D & MAST CG (2016) Heat-flow-driven oligonucleotide gelation separates single-base differences. Angew. Chem. 128, 6788-6791 • LMU Forschung: Sortiermaschine des Lebens https://www.uni-muenchen.de/forschung/news/2016/braun_ursprung-leben.html] H. Binder



Beat Schweitzer
(2016) Design in
der Natur. Von der
Physikotheologie zu
Intelligent Design.
Gießen: Brunnen-
Verlag. 320 Seiten.

Mit diesem Buch legt Beat Schweitzer seine Doktorarbeit vor, die im Wintersemester 2014/2015 an der Universität Regensburg angenommen wurde. Als Ziele seiner Arbeit nennt er eine differenzierende Betrachtung von Intelligent Design und der Intelligent-Design-Bewegung, einen Vergleich der vordarwinistischen Physikotheologie mit Intelligent Design und eine Bewertung des Beitrags von Intelligent Design zum Dialog zwischen Naturwissenschaft und Theologie.

Physikotheologen schlossen mittels Naturbeobachtungen auf die Existenz eines Schöpfers, darüber hinaus auch auf Gottes Eigenschaften. Sie setzten eine intelligente Struktur der Natur paradigmatisch voraus, die es durch Forschung zu enthüllen gelte. Heutige Befürworter des Intelligent-Design-Ansatzes stehen insofern in deren Tradition, als auch sie aus bestimmten Kennzeichen der Schöpfung einen Schluss auf einen Designer ziehen, allerdings ohne etwas über dessen speziellere Eigenschaften aussagen zu wollen.

Die historischen Ausführungen Schweitzers über frühe Vertreter des Design-Arguments bzw. der ähnlich ausgerichteten Physikotheologie und ihrer Argumente füllen eine Lücke in der (mir bekannten) neueren Literatur über Intelligent Design im deutschsprachigen Raum. Schweitzer stellt heraus, dass für die Physikotheologen ein genaues Studium der Natur wichtig war, ebenso die Beschreibung vieler Beispiele, um auch durch die Fülle der Indizien für einen Schöpfer argumentieren zu können. Die Erforschung der Natur hatte also einen hohen Stellenwert. Bemerkenswert sind auch die Ausführungen über William PALEY und seine Argumentation für Schöpfung, erfährt man doch einiges darüber, dass sich PALEY schon 1802 in seinem Werk *Natural Theology* mit vielen Argumenten gegen den Schluss auf Design befasst hat, die auch heute in der Diskussion um das Design-Argument vorkommen. PALEY wird damit gleichsam rehabilitiert, denn es wurde in der neueren Diskussion um Intelligent Design häufig – aber fälschlicherweise – behauptet, PALEY sei durch die Argumente des schottischen Philosophen David HUME schon widerlegt gewesen, bevor er sein Buch veröffentlichte. Das Gegenteil kommt den Tatsa-

chen deutlich näher: PALEY antwortet auch auf HUMES kritische Einwände.

Informativ ist auch der geschichtliche Rückblick zur Evolutionstheorie, der einige Details bietet, von denen man sonst wenig erfährt, z. B. von den speziellen Evolutionsvorstellungen von LAMARCK oder den teilweise gegensätzlichen damaligen Einschätzungen von DARWIN'S Theorie bezüglich ihrer Vereinbarkeit mit einem Schöpfer (Charles HODGE vs. Asa GRAY). Schweitzer arbeitet klar heraus, dass DARWIN das klassische Design-Argument im Sinne der Physikotheologie oder in der Darstellung von PALEY ablehnte, weil er dieses (zu Unrecht?) mit einem statischen Naturverständnis verknüpfte, das er ablehnte, und auch weil er die üblen Seiten der Schöpfung mit einem direkt erschaffenden Gott nicht zusammenbringen konnte.

Physikotheologen schlossen mittels Naturbeobachtungen auf die Existenz eines Schöpfers und auch auf Gottes Eigenschaften.

Für die aktuelle Diskussion ist die Analyse der heutigen Argumente von Befürwortern von Intelligent Design von besonderem Interesse. Nach meiner Einschätzung ist die Darstellung der Argumente für und gegen den Design-Ansatz in Schweitzers Buch einseitig. Der Autor folgt der verbreiteten Lesart, DARWIN habe mit dem Selektionsmechanismus dem Design-Argument der Art PALEY'S den Todesstoß versetzt.¹ Das kann man allerdings mit guten Gründen bestreiten.² Außerdem könnten die Befürworter des Design-Arguments nicht erklären, wie Gott die Entwicklung steuert (182). Diese Kritik ist fragwürdig, weil viele Befürworter von Intelligent Design gar nicht davon ausgehen, dass Gott die Entwicklung steuert, sondern eine direkte Erschaffung annehmen. Ein solcher vergangener singulärer Schöpfungsvorgang ist aber prinzipiell genauso wenig untersuchbar wie ein hypothetischer vergangener Evolutionsprozess. Beim Design-Ansatz geht es nur um die Frage „geistige oder nicht-geistige Verursachung?“

Weiter zitiert Schweitzer Kritik des Arguments der nichtreduzierbaren Komplexität, zu der es eine Reihe von Gegenkritiken gibt, von der der Leser jedoch kaum etwas erfährt. Die Kritiker dieses Arguments kommen daher m. E. viel zu gut weg (und das Argument dadurch viel zu schlecht).³ Ähnliches trifft für die Behandlung des Analogie-Arguments zu (Details dazu unter <http://www.wort-und-wissen.de/info/rezens/b55.pdf>).

Die Darstellung ist auch aus einem zweiten Grund einseitig: Immer wieder wird (unterschwellig) der Eindruck erweckt, nur die Design-Vertreter hätten eine Beweislast zu tragen. Doch die Befürworter einer natürlichen Entstehungsgeschichte müssen selbst im Einzelnen nachvollziehbar darlegen, wie auf der Basis physikalisch-chemischer Prozesse und nicht-geistiger Verursachung die Designs der Lebewesen entstehen können, denn es ist ihre Behauptung, dass die Lebewesen ohne Input eines Schöpfers entstehen konnten.

Befürworter einer natürlichen Entstehungsgeschichte müssen selbst zeigen, wie allein auf der Basis physikalisch-chemischer Prozesse Lebewesen entstehen können.

Zusätzlich problematisch ist in diesem Zusammenhang, dass nicht geklärt wird, was mit „Beweis“ auf diesem Gebiet überhaupt gemeint ist bzw. welche Art von „Beweis“ für alle (!) Ansätze überhaupt möglich ist.⁴ Im strengen logischen oder mathematischen Sinne ist ein Beweis in den Naturwissenschaften nämlich prinzipiell nicht möglich. Das gilt in ganz besonderer Weise für alle historischen Erklärungsansätze. Relevant sind hier Indizienbeweise; hier ist aber auch die andere Seite – der naturalistische Ansatz – herausgefordert, Indizien, vor allem mechanistischer Art, zu erbringen. Hat dieser bessere Karten als der Design-Ansatz? Diese Frage wird nicht einmal klar aufgeworfen. Man könnte fast den Eindruck bekommen, dass weil Intelligent Design den zwingenden Beweis für seine Sache nicht erbringen kann, somit der Ansatz einer natürlichen Entstehungsgeschichte die Nase vorn oder wenigstens gute Argumente hätte. Das trifft aber nicht zu, sondern ist nur Ausdruck der stillschweigenden (aber unbegründeten) Vorgabe des Naturalismus als Standard oder Paradigma historischer Interpretationen. Es ist aber nicht statthaft, den Beweis für den eigenen Ansatz schuldig zu bleiben und vom Kontrahenten einen praktisch zwingenden Beweis zu verlangen (den es nicht geben kann), als habe dieser zu zeigen, dass eine natürliche Entstehungsgeschichte unter allen Umständen scheitere – eine Strategie, die bereits Charles DARWIN verfolgte. Diese Beweislastumkehr wird weder der Sachlage noch erkenntnistheoretischen Grundsätzen gerecht und ist daher nicht gerechtfertigt.

Schweitzer analysiert den Schluss auf Design durch Nachweis von nichtreduzierbarer Komplexität (nach Michael BEHE) bzw. von spezifizierter Komplexität (nach William DEMBSKI) sowie den Analogieschluss auf Design. Dem Schluss auf Design stellt er Einwände der Kritiker entgegen und folgt ihnen weitgehend. Der Nachweis von nichtreduzierbarer und spezifizierter Komplexität sei nicht sicher möglich; auch der Analogieschluss sei unsicher und anfechtbar. In allen Schlussfolgerungen für Design gehe bereits Vorwissen bzw. Mutmaßungen über einen Designer oder Schöpfer ein, dessen schöpferisches Wirken man doch alleine auf der Basis von Naturbeobachtungen erschließen wolle. Auch der Ansatz des „spezifischen Designs“, der auf bestimmte mutmaßliche Eigenschaften des Schöpfers ausdrücklich Bezug nimmt, erlaube es nicht, auf die Existenz eines Designers aus der Naturbeobachtung zu schließen.

Schweitzer kommt zum Ergebnis, dass ein zwingender Schluss auf Design – ausgehend von Beobachtungen in der Natur – nicht möglich sei (*argument to design*). Nur wenn man bereits von einem Schöpfer ausgehe, könne man Bestätigungen für seine Existenz finden (*argument from design*). Das sei schon bei den alten Physikotheologen so gewesen (135ff.), nicht anders sei es bei den modernen Vertretern von Intelligent Design (234).⁵ Die Möglichkeit

von Design sei durch die Naturforschung zwar nicht widerlegt, die Erklärung mit Design sei aber gegenüber Erklärungen ohne Design auch nicht im Vorteil.

Im Schlusskapitel stellt Schweitzer heraus, dass Intelligent Design insofern einen großen Schritt über die Physikotheologie mache, als der Fokus nicht so sehr auf die Zweckhaftigkeit biologischer Strukturen gelegt werde, sondern auf deren Verfasstheit bzw. Komplexität (252f.). Allerdings hängt doch das eine mit dem anderen eng zusammen, so dass sich diesbezüglich m.E. nur die Art der verwendeten Beispiele teilweise geändert hat. Schweitzer setzt sich für Dialog statt Konfrontation ein, zumal Intelligent Design mit einer ganzen Reihe verschiedener Ursprungskonzepte vereinbar ist (257ff.).⁶ Trotz der hier formulierten Kritik: Durch sein Buch macht er vor, wie das gelingen kann.

Reinhard Junker

Anmerkungen

- ¹ Ähnlich S. 256: „Mit seiner Abstammungslehre und der Entdeckung der natürlichen Selektion konnte Darwin eine mechanistische Erklärung mit größerem Erklärungspotential liefern.“ Bei Darwin war Selektion mit der Vererbung erworbener Merkmale verbunden und nur dadurch konnte er eine Alternative zum Design-Ansatz anbieten. Denn die individuell erworbenen Änderungen von Merkmalen und Funktionen werden seiner Auffassung nach vererbt und führen zu einer schrittweisen Umgestaltung und damit einhergehend zu einer optimierten Anpassung an die Umwelt. Die erworbenen Änderungen bleiben erhalten, wenn sie einen Selektionsvorteil bieten.
- ² Es gibt namentlich in den letzten Jahren zahlreiche Evolutionsbiologen, die ausdrücklich feststellen, dass die Mechanismen für Makroevolution nicht aufgeklärt sind.
- ³ Auch das in diesem Zusammenhang oft zur Veranschaulichung verwendete Beispiel der Mausefalle wird einseitig zugunsten der Kritiker erläutert (219f.). Tatsächlich eignet sich das Vorgehen der Kritiker als Musterbeispiel dafür, dass sie das Konzept der nichtreduzierbaren Komplexität und das darauf aufgebaute Argument nicht korrekt rezipiert haben; Details dazu in: R. JUNKER (2008) Nichtreduzierbare Komplexität, www.genesis-net.info/schoepfung_evolution/p1621.php
- ⁴ Vgl. aber Anm. 471, in der Schweitzer auf den Begriff „Beweis“ kurz eingeht. Das hätte in seiner Analyse einen eigenen Abschnitt verdient.
- ⁵ Z. B.: „Dembski findet intelligentes Design allein deshalb in der Natur, weil er bereits von der Existenz eines Designers, in seinem Fall Gott, ausgeht“ (234).
- ⁶ Schweitzer schreibt allerdings, dass die Abstammung von Arten von Intelligent Design nicht bestritten werde (249). Das trifft jedoch nicht generell zu, wie er auf S. 259 (auch in der dortigen instruktiven Tabelle) selber anmerkt, da Intelligent Design auch mit verschiedenen Spielarten des Kreationismus verbunden werden kann.

Hinweis

Eine ausführliche Kritik von Schweitzers Bewertung von Intelligent Design ist unter <http://www.wort-und-wissen.de/info/rezens/b55.pdf> verfügbar.

