

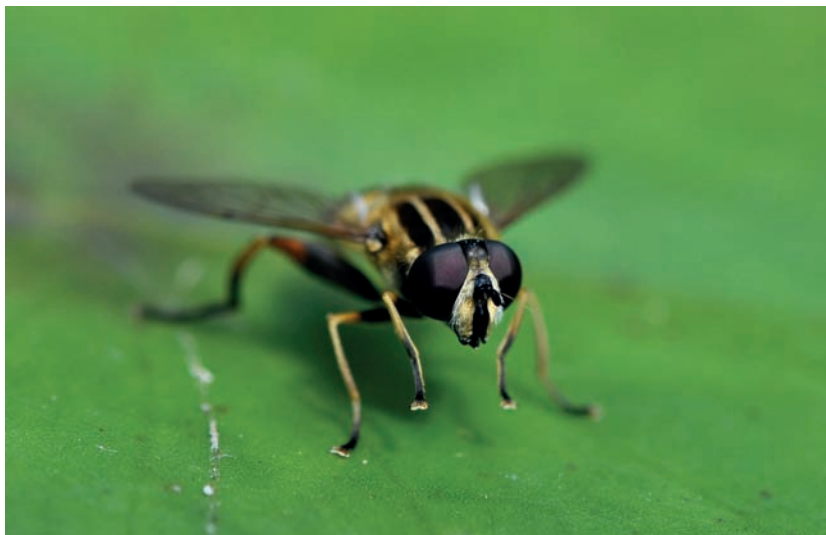


Abb. 1 Die Schwebfliege *Helophilus pendulus* kommt häufig an Gewässern vor. Foto: Winfried BORLINGHAUS.

oder als Gast in der Küche) oder durch Parasiten wie die Malaria übertragende *Anopheles*-Mücke. Letztes Jahr veröffentlichte ein Forschungsteam (WIEGMANN et al. 2011) einen Stammbaum der Fliegen auf der Basis molekularer und morphologischer (gestaltlicher) Ähnlichkeiten. Vertreter aus 149 der 157 Fliegenfamilien wurden einbezogen, 14 Bereiche der Kern-DNA, das komplette Erbgut der Mitochondrien und 371 morphologische Merkmale lagen zugrunde.

Zwei Ergebnisse dieser umfangreichen Studie sollen hier besondere Erwähnung finden: Im Rahmen einer evolutionstheoretischen Interpretation deuten die ermittelten Daten zum einen darauf hin, dass es drei Episoden einer „schnellen Radiaton“ (Aufspaltung) gegeben hat. Dadurch seien die Verwandtschaftsverhältnisse schwer aufklärbar. Das hängt auch damit zusammen, dass – wie so oft – morphologische und molekulare Daten widersprüchlich seien. Dies führt zu einem zweiten beeindruckenden Befund: Für zahlreiche Merkmale und Lebensweisen müssen vielfach Konvergenzen angenommen werden, also deren unabhängige Entstehung auf stammesgeschichtlich getrennten Ästen. So ist das Blutsaugen (Hämatophagie) nach dem ermittelten Phylogramm 12 mal konvergent entstanden, Endoparasitismus, also die Entwicklung der Larven in den Körpern anderer Organismus, sogar 17 mal. Dabei muss man bedenken, welche komplexen

physiologischen und verhaltensbiologischen Merkmale dafür erforderlich sind. 10 mal unabhängig ist Ektoparasitismus entstanden (Parasitismus an der Körperoberfläche von Wirtsarten).

Weiter muss angenommen werden, dass 18 mal unabhängig die Flugfähigkeit eingebüßt wurde, und dass 26 mal die pflanzliche Ernährungsweise entstand (WIEGMANN et al. 2011, 5694). Die Autoren weisen indirekt darauf hin, dass die Ursachen für diese Übergänge unbekannt sind, diese müssten durch zukünftige Untersuchungen ermittelt werden.

[WIEGMANN BM, TRAUTWEIN MD et al. (2011) Episodic radiations in the fly tree of life. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108, 5690-5695.] R. Junker

■ Frühe Erdatmosphäre – ungünstige Bedingungen für chemische Synthesen

In den derzeit diskutierten Modellen über die Zusammensetzung der Atmosphäre auf der frühen Erde gehen die meisten Wissenschaftler davon aus, dass die Gaszusammensetzung vor über 4 Milliarden Jahren hauptsächlich von Gasen beeinflusst war, die durch vulkanische Aktivität aus dem Erdinneren in die Atmosphäre gelangten (KASTING 1993). Für die Szenarien zur Lebensentstehung und die Synthesereaktionen der dafür notwendigen Moleküle hat die Zusammensetzung der Erdatmosphäre großen Einfluss.

Die Herausforderung besteht

nun darin, Daten zu finden, anhand derer die Vorstellungen über die Zusammensetzung der Erdatmosphäre getestet werden können. Als sehr alte geologische Proben kennt man Mineralien, die als Zirkon (Zirkonsilikat, ZrSiO_4) bezeichnet werden. Dieses Mineral ist in abkühlendem Magma auskristallisiert. Dabei wurden auch andere Elemente in den Kristall eingebaut. Die ältesten Zirkonkristalle werden auf ca. 4,4 Milliarden Jahre datiert. TRAIL et al. (2011) haben das Element Cer in diesen alten Zirkonkristallen untersucht. Das Seltenerdenmetall Cer kommt in verschiedenen Oxidationsstufen vor (Ce^{3+} und Ce^{4+}) und das Verhältnis dieser beiden Formen könnte Auskunft darüber geben, wie die Redox-Bedingungen zur Zeit der Kristallbildung waren. Um dies herauszufinden haben die Autoren im Labor Zirkonkristalle unter verschiedenen Oxidationsbedingungen gezüchtet.

Die Resultate ergaben, dass die Oxidationsbedingungen zur Zeit der Zirkonbildung vergleichbar mit den heutigen waren. Dies hätte zur Folge, dass in der Atmosphäre die für die Synthese von organischen Molekülen bedeutsamen Elemente Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Stickstoff (N) und Schwefel (S) überwiegend als CO_2 , H_2O , N_2 und SO_2 vorliegen, also in oxidierter Form.

Für die Experimente zur Simulation der Lebensentstehung (z. B. Uruppen-Experimente von MILLER) war man zunächst von einer reduzierenden Atmosphäre (CH_4 , H_2 , NH_3) ausgegangen. Diese Ausgangsverbindungen würden die Synthesen von Aminosäuren und Bausteinen der Nukleinsäuren begünstigen. Selbst unter dermaßen günstigen hypothetischen Bedingungen konnte aber bisher die spontane Entstehung elementarer Biomoleküle nicht plausibel gemacht werden.

Neuere Befunde – wie auch die hier vorgestellten – deuten nun darauf hin, dass die Bedingungen noch ungünstiger waren als ursprünglich gedacht. Einer der Autoren formulierte das in einem Gespräch folgendermaßen: „Wir können nun mit einiger Sicherheit sagen, dass viele Wissenschaftler, die die Entstehung

des Lebens auf der Erde erforschen, einfach die falsche Atmosphäre ausgewählt haben“ (<http://www.sciencedaily.com/releases/2011/11/1111300141855.htm>).

Die Untersuchungen von TRAIL et al. (2011) liefern nur Anhaltspunkte über die Redox-Bedingungen zur Zeit der Bildung der Zirkonkristalle, über den Sauerstoffanteil in der Atmosphäre geben sie keine Auskunft.

[KASTING JF (1993) Earth's early atmosphere. *Science* 259, 920-926; TRAIL D, WATSON EB & TAILBY ND (2011) The oxidation state of Hadean magmas and implications for early earth's atmosphere. *Nature* 480, 79-82.]
H. Binder

■ Wurde eine RNA-Welt am Grunde des Ozeans etabliert?

Dieter BRAUN erforscht mit seiner Arbeitsgruppe „Systems Biophysics“ an der LMU München das Verhalten von Biomolekülen in kleinräumigen Systemen mit Temperaturgradienten. Damit versuchen die Wissenschaftler Bedingungen nachzuahmen, wie sie an hydrothermalen Quellen vorkommen, die sich in Bereichen vulkanischer Aktivität am Ozeanboden finden. BRAUN und seine Mitarbeiter hoffen, durch diese Untersuchungen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse Schritte beschreiben zu können, die zu ersten Replikationssystemen mit Nukleinsäuren geführt haben könnten. Dies wäre ein bedeutender Beitrag, der die RNA-Welt-Hypothese stützen könnte. Jüngst wurden die Arbeiten von BRAUN mit dem hochdotierten Klug-Wilhelmy-Weberbank-Preis ausgezeichnet.

BRAUN et al. hatten Prozesse beschrieben und untersucht, bei denen in kleinräumigen Systemen mit Temperaturgradienten kreis- oder walzenförmige Strömungsmuster ausgelöst werden (BAASKE et al. 2007, MAST & BRAUN 2010). Solche durch Temperaturgradienten verursachten Strömungen führen zum Transport von Teilchen (Thermophorese). Systeme dieser Art könnten z. B. in mit Wasser gesättigtem porösem Gestein etabliert werden. Teilchen, die in dieser Strömung transportiert werden, würden sich also regelmäßig ab-

wechselnd in kühler und dann wieder in warmer Umgebung befinden. Temperaturwechsel dieser Art werden z. B. bei Reaktionssystemen benötigt, in denen Nukleinsäuremoleküle (DNA oder RNA) repliziert werden (z. B. in so genannten Polymerase-Ketten-Reaktionen, PCR). Bei höheren Temperaturen trennen sich die beiden Stränge der Doppelhelix der DNA. Unter kühleren Bedingungen werden dann die Einzelstränge durch synthetische Ergänzung (unter Beteiligungentsprechender Enzyme) komplettiert – sofern alle für die Reaktionen notwendigen Komponenten vorhanden sind – und sie vereinigen sich zu Doppelsträngen. Diese trennen sich dann bei höherer Temperatur erneut auf usw.

Darüber hinaus fanden BRAUN und seine Kollegen, dass sich in den eben beschriebenen Strömungssystemen in kleinsten Räumen (Gesteinsporen) Makromoleküle anreichern lassen. Diese Befunde wurden im Labor nachgestellt und dann theoretisch untersucht.

In den Veröffentlichungen haben BRAUN und seine Co-Autoren die Laborsysteme beschrieben und erklärt und dann diese Zusammenhänge auf hydrothermale Quellen am Ozeanboden („schwarze“ und „weiße Raucher“ an der Nähe der Mittelozeanischen Rücken) übertragen. Mit ihren Untersuchungen beabsichtigen die Autoren ein Modell plausibel zu machen, in dem erste Nukleinsäuremoleküle vervielfältigt und auch angereichert werden könnten. In den porösen Mineralablagerungen der Schlotte am Ozeangrund, durch die heißes mineralreiches Wasser strömt und die außen von kaltem Ozeanwasser umgeben sind, könnten sich in den Poren die oben genannten Bedingungen einstellen und die im Labor demonstrierten Prozesse abspielen – angetrieben durch den Temperaturunterschied. Modellierungen liefern sehr verheißungsvolle Resultate (OBERMAYER et al. 2011). Polynukleotide lassen sich tatsächlich anreichern und vervielfältigen (PCR). BRAUN et al. haben damit begonnen, diese Befunde für verbesserte biotechnische Prozesse zu nutzen.

BRAUN und seine Mitarbeiter haben mit diesen Untersuchungen

Phänomene beschrieben und zumindest teilweise erklärt, die möglicherweise zu erheblichen Verbesserungen von biotechnischen Prozessen führen können. Ob jedoch die modellierten und im Labor demonstrierten Prozesse in hydrothermalen Tiefseequellen stattfinden, ob die Temperaturgradienten sich in geeigneten Bereichen ausbilden und die notwendigen chemischen Ausgangsstoffe vorhanden sind, ist bisher nicht geklärt. Außerdem zeigt die Erfahrung im Syntheselabor, dass man zur Vermehrung von Nukleinsäuren extrem reine Ausgangsverbindungen benötigt und den Ausschluss von Verunreinigungen, die die Synthese stören, gewährleisten muss. Das bedeutet: Ob die beschriebenen Vorgänge in der Natur ablaufen, ist völlig unklar und bisher nicht beobachtet. Besonders problematisch ist die genannte Frage nach der Spezifität der chemischen Prozesse. Selbst wenn erste Nukleinsäure-Oligomere in bestimmten Bereichen von hydrothermalen Schloten vorkommen sollten, ist nicht zu erwarten, dass in den Poren mit Temperaturgradienten ausschließlich die gewünschten Moleküle vorkommen. Auch andere Moleküle sollten vom Thermophoreseprozess (s. o.) erfasst und angereichert werden. Die Spezifität, die für die Etablierung von RNA-Replikation erforderlich ist, wird im Labor durch die Wahl und Vorgabe entsprechender Randbedingungen bei den Experimenten erzielt. Wie eine vergleichbare Spezifität ohne solche Vorgaben erreicht werden kann, ist bisher nicht gezeigt worden. Leslie ORGEL (2008) hatte darauf hingewiesen, dass Hypothesen, die nicht einen Replikator (kopierfähige Nukleinsäure) wie RNA, sondern einen Metabolismus (Stoffwechsel) am Anfang der Lebensentstehung vermuten, an derselben Klippe scheitern: „Fehlende Spezifität scheint die Entstehung komplexer autokatalytischer Abläufe jeder Art eher zu blockieren als unzureichende Effektivität.“

[BAASKE P, WEINERT FM, DUHR S, LEMKE KH, RUSSEL MJ & BRAUN D (2007) Extreme accumulation of nucleotides in simulated hydrothermal pore systems. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 104, 9346-9351; MAST CB & BRAUN D (2010) Thermal trap for DNA replication.