

auf die Isle of Man schnell ausbreiten konnte.

[COYNE JA (1998) Not black and white. *Nature* 396, 35-36; MAJERUS MEN (1998) Melanism: Evolution in action. Oxford; VAN'T HOF AE, EDMONDS N, DALÍKOVA M, MAREC F & SACCHERI JJ (2011) Industrial Melanism in British Peppered Moths Has a Singular and Recent Mutational Origin. *Science* 332, 958-960.] R. Junker



Abb. 1 Eines der fossilen Komplexaugen mit der „bright zone“ im zentralen Bereich. (Nach LEE et al. 2011, Abdruck mit freundlicher Genehmigung)

■ „Moderne Optik“ im frühen Kambrium

Die Evolution der Augen ist ein viel diskutiertes Thema in der Evolutionsbiologie und unter Evolutionskritikern (vgl. ULLRICH et al. 2005). Dabei stehen Vergleiche verschiedener Augentypen heutiger Arten und theoretische Überlegungen über Neuerwerb einzelner Bestandteile komplexer Augen z. B. durch sogenannte Kooptionen im Vordergrund. Welchen Beitrag aber liefern Fossilfunde? Hier ist weitgehend Fehlanzeige zu verzeichnen. „Der Fossilbericht war bis jetzt unzureichend, um Einblicke in die frühe Evolution der Augen während der anfänglichen Radiation vieler Tiergruppen zu ermöglichen, die als kambrische Explosion bekannt ist“ (LEE et al. 2011, 631). Außer von Trilobiten-Augen sei kaum etwas über die Details des optischen Designs der

kambrischen Tierwelt, aus der die ältesten fossil erhaltenen Augen stammen, bekannt, trotz z. T. sehr guter fossiler Erhaltung. Nun berichten LEE et al. (2011) von sehr gut erhaltenen fossilen Augen aus dem frühen Kambrium des Emu Bay-Schiefers in Australien (auf 515 Millionen Jahre datiert), die sie als „sehr hochentwickelte“ (highly advanced) Komplexaugen (Facettenaugen) charakterisieren. Sie sind in fein geschichtetem Tonstein eingebettet.

Es handelt sich um mehrere isolierte Augen, die aus jeweils über 3.000 ommatidischen Linsen in dichter und in ausgeprägt sechseckiger Anordnung bestehen, was die kompakteste und effizienteste Anordnung darstellt. (Als Ommatidien werden die Einzelelemente von zusammengesetzten Augen bezeichnet, wie sie in der heutigen Tierwelt bei Gliederfüßern vorkommen.) Der Durchmesser der Augen beträgt 7-9 mm. Die Forscher ordnen die Augen aufgrund ihrer Größe einem Gliederfüßer zu, der vermutlich räuberisch lebte und unter schwachen Lichtverhältnissen sehen konnte. Eine genauere Zuordnung ist nicht möglich. Die Augen sind komplexer als fossile Augen zeitgleich existierender Trilobiten und so hochentwickelt wie die Augen vieler heute lebender Formen. Die Augen besitzen im Zentrum große ommatidische Linsen, die eine besonders lichtempfindliche „helle Zone“ („bright zone“ oder „acute zone“) bilden, während die Linsen in den Randbereichen kleiner sind. Diese Spezialisierungen seien für viele moderne Taxa charakteristisch. Die Wissenschaftler schließen aus der Anordnung der verschiedenen Linsengrößen, dass die Augen auch im Lebenszustand flach waren. Die extrem reguläre Anordnung der Linsen übertrifft sogar die Anordnung bei manchen heute lebenden Formen wie dem Pfeilschwanz *Limulus*. Damit besaßen einige der ältesten Gliederfüßer optische Systeme, die denen heutiger Formen glichen.

[LEE MSY, JAGO JB, GARCÍA-BELLIDO DC, EDGE-COMBE GD, GEHLING JG & PATERSON JR (2011)

Modern optics in exceptionally preserved eyes of Early Cambrian arthropods from Australia. *Nature* 474, 631-634; ULLRICH H, WINKLER N & JUNKER R (2005) Zankapfel Auge. Ein Paradebeispiel für „Intelligent Design“ in der Kritik. *Stud. Int. J.* 13, 3-14.] R. Junker

■ MILLERS Simulations-experimente erneut unter der Lupe

Stanley S. MILLER gilt als der Chemiker, der als Pionier Mitte des 20. Jahrhunderts erste experimentelle Untersuchungen zur Chemie der Lebensentstehung angestellt hat. Er veröffentlichte 1953 eine Aufsehen erregende und bis heute unverändert populäre Arbeit, in der er in eindrucksvoller Weise demonstrierte, dass man im Labor aus einem einfachen Gasgemisch Aminosäuren, die Bausteine für Proteine synthetisieren kann. MILLER, der im Mai 2007 im Alter von 77 Jahren gestorben ist, hat sich lebenslang mit den Fragen des chemischen Ursprungs von Leben beschäftigt. Auch wenn er hinsichtlich einer naturwissenschaftlichen Klärung dieser Frage optimistisch war, so hat er doch gleichzeitig nüchtern und kritisch die bislang vorgeschlagenen Szenarien analysiert und kommentiert.

Jeffrey L. BADA – ehemaliger Schüler von MILLER und heute Professor für Marine Chemie an der Scripps Institution of Oceanography der University of San Diego – beschäftigt sich ebenfalls mit Aminosäuren und deren Beiträgen in Modellen zur Lebensentstehung. Nach dem Tod von MILLER fanden BADA und Mitarbeiter Probengefäße aus dessen Ursuppen-Experimenten. Anhand von MILLERS Protokollen konnten sie die Proben entsprechenden Experimenten zuordnen und haben diese mit modernen Analysemethoden erneut untersucht. Aus Experimenten der Jahre 1953-54 hatte MILLER (1955) fünf Aminosäuren und verschiedene Substanzen, die er nicht identifiziert hatte (Papierchromatographie), beschrieben.

JOHNSON et al. (2008) identifizierten in Proben 22 Aminosäuren

(neben vielen nicht proteinogenen Aminosäuren (die in heutigen Proteinen nicht vorkommen) auch Glycin, Alanin, Serin, Asparaginsäure, Valin, Glutaminsäure und Phenylalanin) und fünf Aminoverbindungen. Sie zeigten damit, dass die klassischen Ursuppen-Experimente hinsichtlich der Vielfalt an gebildeten Aminosäuren ergiebiger waren, als MILLER dies erkennen konnte, aber auch, dass viele Verbindungen entstehen, die hinsichtlich biologischer Funktionen keine erkennbare Bedeutung haben oder für die Bildung von Peptiden hinderlich sind.

BADA und ein Team von Mitarbeitern veröffentlichten nun erneut Analysenergebnisse von Proben aus MILLERS Simulationsexperimenten, die dieser 1958 durchgeführt, aber nie veröffentlicht hatte (PARKER et al. 2011). Aus einem Gasmisch bestehend aus Methan (CH_4), Ammoniak (NH_3), Schwefelwasserstoff (H_2S) und Kohlendioxid (CO_2) hatte MILLER in einer modifizierten Miller-Apparatur Simulationsexperimente unter besonderer Berücksichtigung von Vulkan- ausbrüchen durchgeführt. (Im Vergleich zur Originalapparatur war eine konisch zulaufende Glasspitze als Düse vor dem eigentlichen Reaktionsraum eingebaut: Glaskolben mit eingeschmolzenen Elektroden.)

Insgesamt konnten PARKER et al. 23 Aminosäuren und vier Aminoverbindungen identifizieren. Dabei enthielten 6 der Aminosäuren Schwefel (S) ebenso wie eine der Aminoverbindungen. Bei den nachgewiesenen 6 S-haltigen Aminosäuren handelt es sich nicht um solche, die am Aufbau von Proteinen beteiligt sind. Die Aminosäuren waren aus 2 bis 6 C-Atomen aufgebaut und alle, sowohl die proteinogenen als auch die anderen Aminosäuren waren racemisch, d. h., die spiegelbildlichen Isomere waren innerhalb der Messgenauigkeit im Ver-

hältnis 1:1 vorhanden ($\text{D/L} = 1 \pm 10\%$). Diesen Befund werten die Autoren auch als Hinweis darauf, dass die Proben während der Lagerung nicht oder höchstens in Spuren verunreinigt wurden (zumindest nicht durch Verunreinigungen biologischen Ursprungs). Cystein, die einzige S-enthaltende Aminosäure, die in Proteinen vorkommt, konnte nicht nachgewiesen werden, oxidierte verwandte Verbindungen dagegen sehr wohl. Die Autoren spekulieren deshalb darüber, dass Cystein möglicherweise ursprünglich bei diesen Experimenten produziert worden war, aber während der Lagerung (ohne Schutz vor Oxidation) chemisch verändert worden ist.

Die Autoren diskutieren die mögliche Bedeutung von Vulkanen, die in der Erdgeschichte zumindest lokal und für gewisse Zeit reduzierende Gasmischungen einschließlich Schwefelwasserstoff produziert haben könnten.

Im Vergleich zu den anderen klassischen Simulationsexperimenten von Miller ist die Vielfalt an Aminosäuren größer (die proteinogenen Aminosäuren Threonin, Leucin und Isoleucin werden dort nicht beschrieben). Die Ausbeute an Aminosäuren ist in dem Experiment mit Schwefelwasserstoff (H_2S) – vor allem bei den nicht proteinogenen Aminosäuren – im Vergleich zu den anderen Experimenten größer.

PARKER et al. (2011) vergleichen die Verteilung der Aminosäuren und deren relative Häufigkeit in den von ihnen untersuchten Proben mit Analysendaten von kohligen Chondriten, der häufigsten Klasse von Meteoriten, die – wie die Bezeichnung andeutet – C-haltige Verbindungen aufweisen.

Solche Vergleiche hatte bereits MILLER (WOLMAN et al. 1972) angestellt. Die zumindest teilweise vorhandene Ähnlichkeit nehmen die

Autoren zum Anlass über vergleichbare Synthesebedingungen im interstellaren Raum bzw. an den Herkunftsorten der Meteoriten und in den Simulationsexperimenten, sowie über die Bedeutung der Gegenwart von H_2S bei der Synthese von Aminosäuren zu spekulieren.

Mit dieser späten Analyse, Auswertung und Publikation von MILLERS Simulationsexperimenten ist dokumentiert, dass Stanley MILLER dabei erstmals die Synthese von S-haltigen Aminosäuren gelungen ist.

Damit ist die Vielfalt an Aminosäuren, die in Simulationsexperimenten zur präbiotischen Chemie erzeugt wurde, größer als bisher bekannt. *Sie weicht aber auch deutlicher vom Spektrum der proteinogenen Aminosäuren ab.* Die Untersuchungen bestätigen jedoch gleichzeitig die Probleme auf dem Weg zu biologisch aktiven Peptiden und Proteinen (JUNKER & SCHERER 2006, Kapitel IV.7; BINDER 2003). Im Blick auf deren Synthese stellen die bisher bekannten Resultate der Simulationsexperimente nach wie vor eine Sackgasse dar. Mit anderen Worten, die Herkunft biologisch aktiver Peptide für erste biologische Systeme (Zellen) ist bisher unbekannt.

[BINDER H (2003) Miller-Experimente zur Chemie der Lebensentstehung – 50 Jahre danach. Stud. Int. J. 10, 65-73; JOHNSON AP, CLEAVES HJ, DWORKIN JP, GLAVIN DP, LAZCANO A & BADA JL (2008) The MILLER volcanic spark discharge experiment. Science 322, 404; JUNKER R & SCHERER S (2006) Evolution ein kritisches Lehrbuch. Gießen; MILLER SL (1955) Production of some organic compounds under possible primitive earth conditions. J. Am. Chem. Soc. 77, 2351-2361; PARKER ET, CLEAVES HJ, DWORKIN JP, GLAVIN DP, CALLAHAN M, AUBREY A, LAZCANO A & BADA JL (2011) Primordial synthesis of amines and amino acids in a 1958 Miller H_2S -rich spark discharge experiment. Proc. Nat. Acad. Sci. USA; doi/10.1073/pnas.1019191108; WOLMAN Y, HAVERLAND WJ, MILLER SL (1972) Nonprotein amino acids from spark discharges and their comparison with the Murchison meteorite amino acids. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 69, 809-811.] H. Binder