

bei *Archaeopteryx* viel dünner als bei letzteren. Besonders gut vergleichbar sind die Knochenstrukturen mit der Situation bei Fasanen. Die Forscher schließen daraus, dass *Archaeopteryx* ähnlich wie heutige Fasanen gelegentlich aktiv hochflattern konnte, um Hürden zu überwinden oder Feinden auszuweichen. Dagegen waren sie vermutlich keine ausdauernden Flieger.

Andererseits gibt es markante anatomische Unterschiede zu heutigen Vögeln. Hier bleiben für das Verständnis der Art des Fluges bei *Archaeopteryx* Fragen für die Wissenschaftler offen. Sie vermuten, dass *Archaeopteryx* auf eine bislang nicht geklärte Weise mit anderer Haltung und anderer Art des Flügelschlags unterwegs war als heutige Vögel.

Die neuen Befunde reihen sich in die Liste neuerer Untersuchungen ein, die gezeigt haben, dass die geologisch (bzw. genauer stratigraphisch) ältesten Vögel bessere Flieger waren als bisher angenommen (vgl. Literatur am Ende). Je mehr Details aufgeklärt werden können, desto eher scheinen Anzeichen von Primitivität zu verschwinden. Das gilt für die sogenannten Gegenvögel (NAVALÓN et al. 2015), für den „Konfuziusvogel“ (*Confuciusornis*) (FALK et al. 2016) oder auch für die Gattung *Anchiornis* (WANG et al. 2017), die möglicherweise zu Unrecht zu Dinosauriern statt zu den Vögeln gestellt wird (JUNKER 2017). Die Aufklärung der mutmaßlich evolutionären Entstehung des Vogelflugs rückt damit in größere Ferne als bisher. Primitive

Flugvorstufen sind bisher nicht sicher nachweisbar.

[FALK AR, KAYE TG, ZHOU Z & BURNHAM DA (2016) Laser fluorescence illuminates the soft tissue and life habits of the Early Cretaceous bird *Confuciusornis*. PLoS ONE 11(12): e0167284. doi:10.1371/journal.pone.0167284 • JUNKER R (2017) *Anchiornis* – nur „fast ein Vogel“? Stud. Integr. J. 24, 102-104 • NAVALÓN G, MARUGÁN-LOBÓN J, CHIAPPE LM, SANZ JL & BUSCALIONI A (2015) Soft-tissue and dermal arrangement in the wing of an Early Cretaceous bird: Implications for the evolution of avian flight. Sci. Rep. 5:14864 • VOETEN DFAE, CUBO J, DE MARGERIE E, RÖPER M, BEYRAND V, BURE S, TAFFOREAU P & SANCHEZ S (2018) Wing bone geometry reveals active flight in *Archaeopteryx*. Nat. Comm. 9:923, doi: 10.1038/s41467-018-03296-8 • WANG X, PITTMAN M, ZHENG X, KAYE TG, FALK AR, HARTMAN SA & XU X (2017) Basal paravian functional anatomy illuminated by high-detail body outline. Nat. Comm. 8:14576, doi: 10.1038/ncomms14576] R. Junker

■ Lebensspuren unter extremen Wüstenbedingungen – auch auf anderen Himmelskörpern?

In den Medien erregen Meldungen mit Hinweisen auf Leben irgendwo im All große Aufmerksamkeit. Die Lektüre offenbart dann, dass die Hinweise auf sehr optimistischen Interpretationen von wenigen Befunden beruhen und somit eher Wunschträumen oder Erwartungshaltungen der Öffentlichkeit entspringen. Hier einige aktuelle Forschungsergebnisse und deren Einordnung und Bewertung.

Gebiete in der Atacama-Wüste im Westen Südamerikas (im Süden Perus und in Chile) zählen zu den trockensten Lebensräumen der Erde. Nach den äußerst seltenen Niederschlägen zeigt sich, dass sich auch hier Leben entfalten kann, wenn die entsprechenden Wüstenregionen für begrenzte Zeit aufblühen. Die meiste Zeit aber stellt diese Region enorme Herausforderungen an jegliche Art von Lebewesen.

Ein umfangreiches internationales Wissenschaftlerteam hat nun untersucht, ob unter den in der Atacama-Wüste vorherrschenden Bedingungen wie extreme Trockenheit, sehr salzige Böden und ausgeprägter Nährstoffmangel mikrobielles Leben dauerhaft möglich ist. Die Forscher sammelten Proben im Jahre 2015

– nach dem letzten nennenswerten Niederschlagsereignis – sowie in den beiden darauffolgenden Jahren (2016 und 2017), in denen keine Niederschläge verzeichnet worden waren. Sie konnten anhand von Proben an verschiedenen geographischen Regionen zeigen, dass sowohl die Biomasse als auch die Vielfalt der Mikroorganismen mit zunehmender Trockenheit abnimmt. Unter den extremen Lebensbedingungen ist es schwierig, Leben überhaupt zuverlässig nachzuweisen. Daher verwendeten die Autoren unterschiedliche Kriterien für den Nachweis von mikrobiellem Leben. Sie konnten vier verschiedene Hinweise auf dauerhaft lebende Mikroben (neben den sehr robusten Sporen, die manche Bakterien bilden) aufzeigen: (a) die physikalisch-chemische Beschaffenheit des Bodens, der durch Pflanzen nach einem der sehr seltenen Regenereignisse nutzbar ist; (b) den Nachweis von Biomolekülen, die auf aktive Zellen hinweisen, wie ATP, Phospholipide, Stoffwechselprodukte und enzymatische Aktivität; (c) messbare Verdopplungsraten von Genomen in Bodenproben und (d) spezifische Zusammensetzung der Mikrobengemeinschaften, abhängig von der Qualität des Bodens und der Tiefe, aus der die Proben genommen wurden.

Aus ihren Befunden leiten die Autoren ein Arbeitsmodell für den Mars ab, obwohl sie davon ausgehen, dass die dort herrschenden Bedingungen noch extremer sind. Sie gehen davon aus, dass, wenn sich je Leben auf dem Mars entwickelt haben sollte, Überreste davon in Nischen unter der Oberfläche zu finden sein könnten. Für die Erde wissen wir, dass es hier Lebewesen gibt, die uns immer wieder mit erstaunlichen Eigenschaften überraschen. Belege dafür, dass es auf dem Mars jemals Leben gegeben hat, fehlen allerdings bisher!

Über die Möglichkeiten außerirdischen Lebens wird nicht nur im Zusammenhang mit dem vergleichsweise erdnahen Planeten Mars spekuliert, auch andere Himmelskörper werden unter astrobiologischen Fragestellungen ins Blickfeld genommen. In einer NASA-Mission

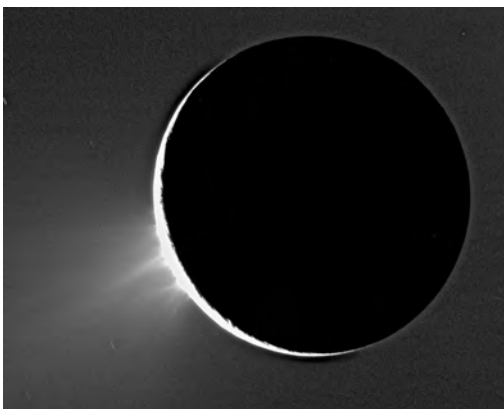


Abb. 1 Enceladus, ein großer Saturnmond, ist ein Eismond. Die Aufnahme lässt die vulkanische Aktivität erkennen. Die Fontänen bestehen aus Wassereis. Hinweise auf flüssiges Wasser nähren Spekulationen über günstige Bedingungen zur Lebensentstehung. (Bild: NASA)

(2004–2017) wurden mit der Raumsonde *Cassini* (und *Huygens*) Saturn und seine Monde untersucht. Im Rahmen dieser Mission wurden am Südpol des Saturnmondes Enceladus Wasserdampf-Fahnen dokumentiert. Diese Befunde führten bereits 2008 zu Spekulationen über Leben auf diesem Mond (McKAY et al. 2008). Weitere Daten wurden als Hinweise auf hydrothermale Prozesse interpretiert, die unter der Eisdecke dieses Himmelskörpers ablaufen könnten. In jüngeren Publikationen werden neben Wasser auch Methan (CH₄), Kohlenstoffdioxid (CO₂), Ammoniak (NH₃), molekularer Stickstoff (N₂) und Wasserstoff (H₂) nachgewiesen (WAITE et al. 2017) und damit die Vermutung hydrothermaler Vorgänge auf Enceladus erhärtet.

TAUBNER et al. (2018) haben jetzt unter der Annahme, dass zwischen dem als steinern angenommenen Kern und der vereisten Oberfläche des Saturnmondes in flüssigem Wasser geochemische Prozesse bei gemäßigten Temperaturen (< 100 °C) ablaufen, die Idee geprüft, ob ein Teil des Methans biologischen Ursprungs sein könnte. Sie konnten im Labor unter simulierten Enceladus-Bedingungen zeigen, dass Methan produzierende Archaeobakterien unter den dort angenommenen Drücken CO₂ in CH₄ umwandeln. Damit könnte, so schlussfolgern die Autoren, ein Teil des nachgewiesenen CH₄ biologischen Ursprungs sein und damit auf Leben hinweisen.

Auch dieser indirekte Hinweis, dass es auf Enceladus möglicherweise Lebewesen geben könnte, ist stark von der Überzeugung geprägt, dass biologische Systeme auch an anderen Orten im Universum unter geeigneten Bedingungen zu erwarten sind, ohne Absicht und entsprechende Steuerung. Für diese Überzeugung gibt es jedoch keinen Anlass und bisher liegt auch kein empirischer Beleg für extraterrestrisches Leben vor.

[McKAY CP, PORCO CC, ALTHEIDE T, DAVIS WL & KRAL TA (2008) The possible origin and persistence of life on Enceladus and detection of biomarkers in the plume. *Astrobiology* 8, 909–919 • SCHULZE-MAKUCH et al. (2018) Transitory microbial habitat in the hyperarid Atacama desert. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*; doi: 10.1073/pnas.1714341115 • TAUBNER R-S, PAPPENREITER P, ZWICKER J, SMRZKA D, PRUCKNER C, KOLAR P, BERNACCHI S, SEIFERT AH, KRAJE

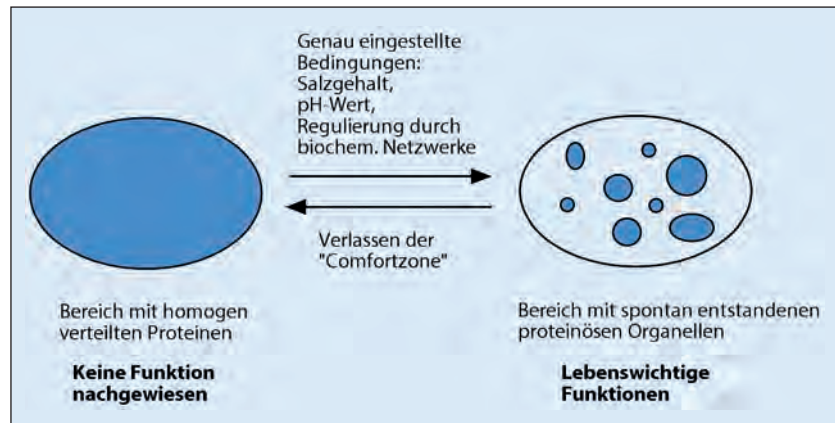


Abb. 1 Schematische Darstellung der Bildung membranloser Organellen.

A, BACH W, PECKMANN J, PAULIK C, FIRNEIS M, SCHLEPER C & RITTMANN SK-MR (2018) Biological methane production under putative Enceladus-like conditions. *Nat. Comm.* 9, 748; doi: 10.1038/s41467-018-02876-y • WAITE JH et al. (2017) Cassini finds molecular hydrogen in the Enceladus plume: evidence for hydrothermal processes. *Science* 356, 155–159.] H. Binder

■ Jetzt siehst du mich, jetzt nicht mehr – rätselhafte Organellen ohne Membran

Das Phänomen Leben ist auf allen erforschten Ebenen überaus komplex. Selbst die kleinste Einheit des Lebens, die Zelle, besteht aus einer Vielzahl an eng verwobenen und aufeinander angewiesenen Organellen. Als Organellen (kleine Organe) werden zelluläre Untereinheiten bezeichnet, die verschiedene Aufgaben im Haushalt der Zelle übernehmen. In tierischen Zellen sind z.B. Mitochondrien für die Energieversorgung zuständig, Peroxisomen für den Abbau giftiger Nebenprodukte des Sauerstoffs und Lysosomen für den Abbau einer Vielzahl an natürlichen Stoffgruppen, die entweder von außen in die Zelle gelangen oder innerhalb der Zelle erzeugt werden (Nukleinsäuren, Proteine, Fette etc.). In pflanzlichen Zellen sind Chloroplasten für die Energiespeicherung durch Photosynthese unverzichtbar. Alle bisher genannten Organellen haben ungeachtet ihrer hochgradig unterschiedlichen Funktionen eines gemeinsam: Sie weisen alle nach außen eine Abgrenzung auf – eine Membran. Es sind zwar auch einige Organellen ohne Membran bekannt, wie die als

„Proteinfabriken“ bezeichneten Ribosomen, doch weisen auch sie eine wohldefinierte, feste Form auf. Eine weitere Gemeinsamkeit aller bisher bekannten Organellen ist die relativ komplexe Zusammensetzung aus vielen verschiedenen Molekültypen.

Anders sieht es dagegen bei einem vor wenigen Jahren entdeckten Typ von Organellen aus, den proteinösen membranlosen Organellen („proteinaceous membrane-less organelles“, PMLO, UVERSKY 2017). Im Unterschied zu den meisten bisher bekannten zellulären Funktionseinheiten zeichnen sich die PMLO nicht nur durch das Fehlen einer Membran aus, sondern sie sind häufig flüssig. Sie werden als kleine Tröpfchen beschrieben, die sich beim Auftreffen auf Hindernisse stark und umkehrbar verformen können. PMLOs können darüber hinaus Wasser aufnehmen und miteinander fusionieren. Wie es der Begriff „proteinös“ schon andeutet, bestehen die PMLOs hauptsächlich aus Proteinen, wobei sie in einigen Fällen auch Nukleinsäuren enthalten. Von besonderem Interesse ist hierbei die Art der Proteine, die für PMLOs konstitutiv sind: Es handelt sich ausschließlich um intrinsisch unstrukturierte Proteine (IUP); das sind Proteine ohne feste 3D-Struktur, die sich aber häufig durch Multifunktionalität auszeichnen (SCHMIDTGALL 2018). Neben der auffällig selektiven Zusammensetzung der PMLOs sind auch andere Eigenschaften erstaunlich. PMLOs stellen eine bisher ungeahnte Verdichtung biologischer Makromoleküle dar. Im Vergleich zum ohnehin sehr dichten zellulären Milieu (je nach Kompartiment