

(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 (CH_4), Kohlenstoffdioxid (CO_2), Ammoniak (NH_3), molekularer Stickstoff (N_2) und Wasserstoff (H_2) nachgewiesen (WAITE et al. 2017) und damit die Vermutung hydrothormaler 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 ($< 100^\circ\text{C}$) 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 CO_2 in CH_4 umwandeln. Damit könnte, so schlussfolgern die Autoren, ein Teil des nachgewiesenen CH_4 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

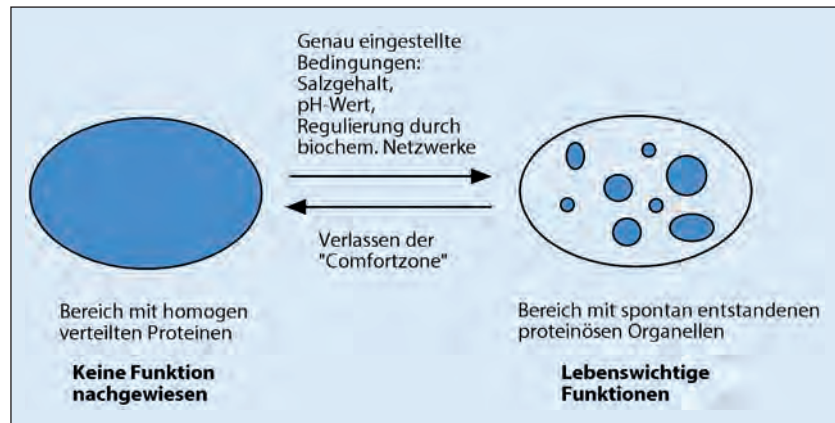


Abb. 1 Schematische Darstellung der Bildung membranloser Organellen.

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

80-400 g/l Gesamtkonzentration) beträgt die gesamte Konzentration der Makromoleküle innerhalb der PMLOs das 10-300-fache.

Die reversible Entstehung dieser äußerst dichten Tröpfchen geschieht allerdings nur unter ganz präzise eingestellten Bedingungen und einer exakten Kontrolle durch Phasentrennung – vergleichbar der Trennung von Öl und Wasser. Diesen Vorgang beschreibt UVERSKY in einem kürzlich erschienenen Übersichtsartikel mit folgenden Worten: „Typischerweise ist ein solcher Vorgang komplett umkehrbar, hochgradig kontrolliert und in hohem Maße von den Bedingungen abhängig, d.h. dass die Phasentrennung nicht geschieht, solange die spezifischen Bedingungen dafür nicht eingestellt sind. Hingegen führt ein Verlassen der Komfortzone zu einem kompletten Verschwinden der kondensierten Phase. [...] ein ‚jetzt siehst du mich, jetzt nicht mehr‘-Phänomen.“

Zu den Faktoren, von denen die beschriebenen Phasenübergänge abhängig sind, zählen nicht nur physikalische Parameter wie der pH-Wert, die Salz- und Makromolekülkonzentration und die Temperatur, sondern auch biochemische Eigenschaften der beteiligten Proteine wie Aminosäuresequenz und die Anzahl an Phosphorylgruppen (PO_3^{2-}), die erst nach der Translation (Übersetzung der mRNA in Proteine) eingefügt werden.

Ungeachtet ihrer hohen Empfindlichkeit sind PLMO zahlreich und gelten als überaus wichtige Organellen, die in vielen verschiedenen Formen vorkommen und spezifische Funktionen ausüben, die in hohem Maße mit den jeweiligen Prozessen korrelieren. Zu den wenigen bisher bekannten Funktionen gehören die Stressantwort, der Transport von RNA-Molekülen innerhalb des Zellkerns, das Spleißen von mRNA-Molekülen, die Regulierung der Genexpression und die Reaktion auf Schäden an der DNA.

Zusammenfassend kann also konstatiert werden, dass ein neuer Typ von zellulärer Funktionseinheit entdeckt worden ist, der trotz seiner außergewöhnlichen Spezifität und Empfindlichkeit gegenüber einer Vielzahl an Parametern sehr wichtige Funktionen ausübt. Im Hinblick auf evolutionstheoretische Modelle stellt sich die Frage, wie solche empfindlichen Zellbestandteile auf Mutationen reagieren und wie ein derart fein abgestimmtes System durch ein zukunftsblindes Zusammenspiel von Zufall und Notwendigkeit („trial and error“) zustande gekommen sein kann. Bisher deuten jedenfalls einige Befunde darauf hin, dass Mutationen, die die konstitutiven Proteine von PMLO betreffen, zum Verklumpen der dichten, flüssigen Kügelchen führen können. Dies wäre nicht überraschend, da IUP schon öfter im

Zusammenhang mit schweren Erkrankungen gebracht worden sind, die aus Protein-Verklumpungen resultieren (z.B. neurodegenerative Erkrankungen). Auch der Umstand, dass die PMLO einer intensiven Regulierung durch die biochemischen Netzwerke der Zelle bedürfen, spricht gegen die Möglichkeit einer schrittweisen, ungerichteten Entwicklung der rätselhaften proteinösen Organellen. Es erstaunt jedenfalls nicht, wenn UVERSKY (2017) im Hinblick auf die PMLO von „einer Magie der biologischen flüssig-flüssig-Phasenübergänge“ spricht.

[SCHMIDTGALL B (2018) Intrinsisch unstrukturierte Proteine. Stud. Integr. J. 25, 84-91 • UVERSKY VN (2017) Intrinsically disordered proteins in overcrowded milieu: membrane-less organelles, phase-separation and intrinsic disorder. Curr. Opin. Struct. Biol. 44, 18-30.] B. Schmidtgall

■ Fledermäuse mit „Long Life“-Garantie

Eines der rätselhaften Phänomene des Lebens ist das Altern. Die Hoffnung ist, dass durch ein Verständnis der Alterungsprozesse auch Einfluss auf deren Geschwindigkeit genommen werden könnte. Möglichst lange jung zu bleiben, ist ein uralter Traum der Menschheit. Bibelleser kennen die hohen „biblischen“ Alter der Urväter mit dem Altersrekord von 969 Jahren des auch sprichwörtlich genutzten Methusalem. Könnten solche hohen Alter realistisch sein oder sind sie eine biologische Unmöglichkeit?

Von überraschender Seite wurden zu dieser Frage kürzlich hochinteressante Befunde publiziert. Eine Forschergruppe (FOLEY et al. 2018) berichtete über Untersuchungen des Alterns bei verschiedenen Arten von Fledermäusen und fand dabei heraus, dass der Vorgang des Alterns beim Großen Mausohr (*Myotis myotis*, Abb. 1) sehr viel langsamer als bei anderen Fledermausarten verläuft. Bekanntlich gibt es bei Säugetieren einen ungefähren Zusammenhang zwischen Körpergewicht und Lebenserwartung. Je geringer das Körpergewicht, desto geringer das Lebensalter. So haben Mäuse eine Lebenserwartung von wenigen Jahren, Hunde werden bis zu ca. 15 Jahre



Abb. 1 Großes Mausohr (*Myotis myotis*) im Quartier in einer Brücke. (Foto: MissMhisi, CC BY-SA 4.0)