

(6 Gene). Die überzähligen Gene bei *R. conorii* wiederum betreffen deutlich häufiger die Bereiche DNA-Verdopplung, Transporterproteine, regulatorische Proteine und Antibiotika-Resistenz.

Die Reihenfolge der Gene in beiden Genomen ist größtenteils identisch bis auf einige kurze Abschnitte am Ende des einzigen Chromosoms, in welchem die Gene in umgekehrter Reihenfolge angeordnet sind, was sich als eine Umkehrung durch eine Mutation (Inversion) erklären läßt. Diese Umkehrung findet sich auch bei anderen Arten der Gattung *Rickettsia*, wobei die Verteilung mit der bisherigen Taxonomie übereinstimmt: *R. prowazekii* näherstehende Bakterien haben das *R. prowazekii*-Genmuster; fernerstehende Arten unterscheiden sich davon.

In vielen Fällen besitzt *R. conorii* nicht andere Gene, sondern einfach nur mehr Kopien einiger bestimmter Gene als *R. prowazekii*. Die Hälfte der Gene, die bei *R. prowazekii* nicht mehr funktionell sind, existieren noch fragmentarisch an derselben Stelle wie im *R. conorii*-Genom. Es sind verschiedene Stadien des Genverlustes erkennbar: Einige Gene sind fast völlig verschwunden, andere noch zu einem erheblichen Teil erhalten, wieder andere sind in mehrere Einzelteile zerlegt und werden oft noch zum Teil abgelesen. Der Zerfall des Genoms der als jünger eingestuften Art *R. prowazekii* wirkt wie das Gesamtergebnis von Mutationen und Anpassung an die Lebensbedingungen in den Wirten. Die durch Mutationen verringerte Funktionsfähigkeit des DNA-Reparatursystems bei *R. prowazekii* hat vielleicht zu dem stärkeren Genverlust beigetragen.

Ansätze für die Entstehung funktionell neuer Gene sind trotz der behaupteten langen Zeitspanne seit der behaupteten Abspaltung vom „letzten gemeinsamen Vorläufer“ nicht zu erkennen.

[COUZIN J (2001) Painting a Picture of Genome Evolution. *Science* 293, 1969-1970; OGATA H, AUDIC S, RENESTO-AUDIFFREN P, FOURNIER PE, BARBE V, SAMSAN D, ROUX V, COSSART P, WEISSENBACH J, CLAVERIE JM, RAOULT D (2001) Mechanisms of Evolution in *Rickettsia conorii* and *R. prowazekii*. *Science* 293, 2093-2098.] WL

Chemie im Weltraum – fruchtbare Beiträge zur Lebensentstehung?

Jüngst wurde auf den Wissenschaftsseiten der Tagespresse der spektroskopische Nachweis von Vinylalkohol im interstellaren Raum (Sagittarius B2N, Sternbild: Schütze) zitiert. Der Befund von TURNER & APPONI (2001) wurde in den populären Darstellungen im Gegensatz zur Originalarbeit mit Spekulationen über die Beteiligung dieses Stoffes am Aufbau biologisch wichtiger Moleküle verknüpft und damit in Zusammenhang mit der Entstehung des Lebens gebracht. Den Wissenschaftlern geht es in der erwähnten Arbeit jedoch nur

darum, die durch die spektralen Daten repräsentierten Stoffe in ihrer chemischen Synthese und Häufigkeitsverteilung nachvollziehen zu können.

Die chemischen Vorgänge im Weltall unterscheiden sich von gängigen Synthesereaktionen im Labor dadurch, daß die Konzentration der Ausgangsstoffe um viele Größenordnungen geringer ist, d.h. es kommt viel seltener zu einem Zusammenstoß, der eine chemische Reaktion zur Folge haben könnte. Außerdem kommen im Weltraum die einzelnen Moleküle typischerweise völlig isoliert vor, d.h. sie sind nicht von einem anderen Medium, z.B. dem Lösungsmittel, umgeben. Lösungsmittelmoleküle nehmen bei Reaktionen durch verschiedenste Formen der Energieübertragung teil, diese Prozesse entfallen also im Kosmos.

TURNER & APPONI haben mit Hilfe eines 12 m-Teleskops in einer bestimmten Region des Weltalls im Sternbild Schütze (Sagittarius B2N) durch die Analyse von Radiowellen Hinweise auf das Vorhandensein von Vinylalkohol gefunden. Durch Vergleiche mit den Isomeren Acetaldehyd und Ethylenoxid, welche bereits in früheren Arbeiten im Weltall nachgewiesen wurden, diskutieren sie verschiedene Modelle der Synthese. Vinylalkohol, Acetaldehyd und Ethylenoxid werden als Isomere bezeichnet, weil sie alle dieselbe Summenformel C_2H_4O aufweisen, sich aber in der Verknüpfung der Atome unterscheiden. Die am häufigsten diskutierten Modelle sind Reaktionen in der Gasphase oder an der Oberfläche von kleinsten Partikeln. Die bisher vorliegenden Daten reichen aber für eine Klärung noch nicht aus.

Vinylalkohol ist aufgrund der darin enthaltenen $C=C$ -Doppelbindung für den Aufbau von komplexeren Molekülen interessant. Eine erhöhte Reaktivität gilt aber nicht nur für den Aufbau gewünschter Verbindungen, sondern ist unspezifisch, d.h. Reaktionen führen auch zu biologisch nicht erwünschten Produkten. Vinylalkohol ist im Labor gar nicht beständig, sondern isomerisiert unter katalytischer Beteiligung eines Wassermoleküls zu Acetaldehyd. Der Nachweis von Vinylalkohol ist somit zwar eine chemisch durchaus interessante Entdeckung, diese eröffnet aber noch lange nicht die Tür zu einem Syntheselabor, welches im Weltall die erwünschten Bausteine für biochemische Systeme erzeugen könnte.

Entsprechendes gilt auch für den Nachweis von Glycolaldehyd ($C_2H_4O_2$) im interstellaren Raum, der von HOLLIS et al. (2000) veröffentlicht worden ist. In dieser Arbeit weisen die Autoren auf die Bedeutung von Glycolaldehyd für die Synthese von Kohlenhydraten und in Verbindung damit auf die biologische Relevanz hin. Sie deuten aber auch an, daß bisher kein chemisch plausibles Modell zur Synthese von Kohlenhydraten auf der Basis der Formose-Reaktion (in deren Verlauf Glycolaldehyd als Zwischenstufe auftritt) vorliegt.

Die hier dargestellten Entdeckungen sind also

durchaus von Interesse und könnten sich als hilfreich erweisen für ein besseres Verständnis von chemischen Vorgängen im Kosmos. Bei Spekulationen über Synthese von biologisch bedeutsamen Verbindungen im Weltall sollten aber alle chemisch-physikalischen Gegebenheiten (Konzentration, Energie, Reaktionsmöglichkeiten, u.a.) Berücksichtigung finden. Vor allem sollte nicht vergessen werden, daß selbst unter Nutzung aller chemischen Erkenntnisse und Techniken bisher kein plausibles geschlossenes Modell vorliegt für die Synthese von biologisch bedeutsamen Makromolekülen, ganz zu schweigen von der Genese lebender Systeme.

[TURNER BE & APPONI AJ (2001) Microwave detection of interstellar vinyl alcohol, $\text{CH}_2=\text{CHOH}$. *Astrophys. J.* 561, L207-L210; HOLLIS JM, LOVAS FJ & JEWELL PR (2000) Interstellar glycolaldehyde: the first sugar. *Astrophys. J.* 540, L107-L110.] HB

Moderne DNA-Sequenz bei Bakterien aus dem Perm

Halophile Bakterien (halos, gr. = Salz; phileo, gr. = lieben) aus permischen Salzkristallen sind von VREELAND et al. (2000) isoliert, kultiviert und charakterisiert worden. Die Reaktivierung dieser Bakterien hatte unmittelbar nach der entsprechenden Publikation kritische Diskussionen hervorgerufen (vgl. BINDER 2001). Nun haben NICKLE et al. (2002) die von VREELAND et al. publizierten 16S rDNA Sequenzdaten mit denjenigen von *Salibacillus marismortui* (diese waren zuvor als *Bacillus marismortui* bezeichnet worden; ARAHAL et al. 2000) verglichen und eine Ähnlichkeit von 99 % festgestellt. NICKLE et al. fanden anhand der bekannten Daten unter den 1559 exakt homologen (die beiden Sequenzen lassen sich ohne Lücken und Verschiebungen miteinander vergleichen) Nukleotiden in der 16S rDNA zwischen *S. marismortui* und dem als 2-9-3 bezeichneten Stamm aus dem permischen Salzkristall nur drei eindeutige Unterschiede, die auch zu Peptiden mit Sequenzunterschieden führen (weitere drei Differenzen haben keinen Einfluß auf das Genprodukt). Diese Differenz bedeutet eine effektive Divergenzrate von 0,4% in 250×10^6 Jahren (ungefähre zeitliche Einordnung der Probe). Aus Untersuchungen an anderen Mikroorganismen wurde ~5-10% Divergenz für diesen Zeitraum errechnet. Obwohl NICKLE et al. ausdrücklich die empirischen Befunde von VREELAND et al. würdigen, halten sie aufgrund theoretischer Überlegungen die Wahrscheinlichkeit für die behauptete Herkunft (Perm) für äußerst gering (Wahrscheinlichkeitsschwelle bei 0,05). Ein weiterer Ähnlichkeitsvergleich (Stammbaumkonstruktion – maximum-likelihood tree – unter Zugrundelegung der Molecular Clock Hypothese) bestätigt die kritische Position der Autoren.

Mit der Veröffentlichung von NICKLE et al. ist also zum wiederholten Male (s. BINDER 2001) der

Widerspruch zwischen empirischem Befund, nämlich Isolierung und Kultivierung von Bakterien unter umfangreichen Vorsichtsmaßnahmen und Kontrollen aus permischen Proben und dem behaupteten Alter (Perm; zugeordnetes Alter: 250×10^6 Jahre) dokumentiert.

Für eine Klärung schlagen NICKLE et al. (2002) vor, daß die Autoren der Originalarbeit (VREELAND et al. 2000) erstens Langzeitversuche durchführen sollten, um abzuklären, ob 2-9-3 lange Zeiträume in Salzkristallen überleben kann und zweitens direkte Datierungen (C-14) zu versuchen. Der erste Vorschlag erscheint nicht praktikabel aufgrund der begrenzten Lebenserwartung von Wissenschaftlern und der zweite scheitert nicht nur an der praktischen Durchführbarkeit (Probenmenge an Originalmaterial; die kultivierten Bakterien sind wegen der Kulturbedingungen für eine Datierung unbrauchbar) sondern ist auch durch prinzipielle Überlegungen wenig aussagekräftig: ein erwartetes unendliches C-14-Alter (kein nachweisbares C-14) ist kein positives Indiz und beweist überhaupt nichts.

Somit bleibt die Diskrepanz zwischen empirischem Befund und dessen zeitlicher Einordnung nach wie vor bestehen und man kann gespannt auf weitere Befunde warten.

[ARAHAL DR, MARQUEZ MC, VOLCANI BE, SCHLEIFER KH & VENTOSA A (2000) Reclassification of *Bacillus marismortui* as *Salibacillus marismortui*. *Int. J. Evol. Microbiol.* 50, 5101-1503; BINDER H (2001) Dornröschenschlaf bei Mikroorganismen? *Stud. Int. J.* 8, 51-55; NICKLE DC, LEARN GH, RAIN MW, MULLINS JI & MITTLER JE (2002) Curiously modern DNA for a „250 million-year-old“ bacterium. *J. Mol. Evol.* 54, 134-137; VREELAND RH, ROSENZWEIG WD & POWERS DW (2000) Isolation of a 250 million-year-old halotolerant bacterium from a primary salt crystal. *Nature* 407, 897-900.] HB

Der jüdische Krieg und das Kolosseum in Rom

In einem der ursprünglich achtzig Eingänge des Kolosseums in Rom kommt der Besucher an einem beschädigten Steinblock vorbei. Eine lateinische Inschrift weist ihn – sofern er dieser Sprache mächtig ist – darauf hin, daß ein gewisser Lampadius das Gebäude im fünften Jahrhundert wieder instandsetzen ließ. Gebaut wurde der Komplex, der einst mehr als fünfzigtausend Besuchern Platz bot, als Amphitheatrum Flavium unter der Herrschaft der Kaiser Vespasian, Titus und Domitian. Die offizielle Einweihung im Jahre 80 n. Chr. dauerte drei Monate. Neuntausend Tiere wurden niedergemacht, mehr als die Hälfte davon an nur einem Tag. Wegen einer Kolossalstatue Neros in seiner unmittelbaren Nachbarschaft wird das Bauwerk seit dem frühen Mittelalter als Kolosseum bezeichnet. Was der Besucher auf dem Stein vermutlich übersieht, sind mehrere Reihen kleiner Löcher von wenigen