

physical research: Earth Surface 120, 212-241
 • NASA Scientific Visualization Studio (2015)
 Greenland Ice Sheet stratigraphy. ID 4249,
<http://svs.gsfc.nasa.gov/4249>.] M. Kotulla

■ Chemie der Lebens- entstehung: Tiefsee- schlote erneut als synthetisch produktive Orte modelliert

Hydrothermale Tiefseequellen, die schwarzen oder auch weißen Raucher im Bereich der Mittelozeanischen Rücken, tauchen seit ihrer erstmaligen Beschreibung Mitte der 1970er-Jahre regelmäßig in Szenarien zur Entstehung des Lebens auf. Die in dem bis zu über 400 °C heißen Wasser gelösten Mineralien werden ausgefällt, wenn die heiße Lösung durch Kontakt mit dem kalten Ozeanwasser (ca. 3 °C) rasch abkühlt und sich so der namengebende „Rauch“ bildet. Aus diesen ausgefallenen Mineralien bauen sich dann mit der Zeit die Schlote auf, aus denen das stark aufgeheizte, mit Mineralien übersättigte Wasser aus der Tiefe an die Oberfläche des Ozeanbodens aufsteigt. Der poröse Aufbau dieser Schlote inspirierte Dieter BRAUN und seine Kollegen dazu, die Porenräume genauer zu studieren und die Auswirkungen von Temperaturgradienten in Röhren mit kleinen Querschnitten zu modellieren. Sie konnten zeigen, dass durch Thermophorese, also einem durch die Temperaturunterschiede verursachten Transport, kurze Nukleinsäuremoleküle in kapillaren Röhren angereichert werden können (BAASKE et al. 2007). Diese Erkenntnisse wurden ebenso zur Entwicklung technischer Geräte genutzt wie auch zum Etablieren von Mechanismen zur Anreicherung von Biomolekülen im Zusammenhang mit der Chemie zur Lebensentstehung (BINDER 2011, IMMING 2015).

Nun hat eine Gruppe von Wissenschaftlern ein solches thermophoretische System in einer Modellrechnung genutzt, um die Anreicherung von Formamid (NH_2CHO) zu modellieren (NIETHER et al. 2016). Formamid hat in den Spekulationen zu präbiotischen Synthesen von Biomolekülen eine lange Tra-

dition. Es lässt sich zwar analytisch fast überall nachweisen, jedoch in so geringen Konzentrationen, dass nicht nachvollziehbar ist, wie es bei der Synthese von Biomolekülen von Bedeutung sein kann. Die numerischen Modellierungen ergeben wie für die Nukleinsäuremoleküle unter entsprechenden Randbedingungen eine Anreicherung aus sehr verdünnten Formamidlösungen (10^{-3} Gewichts-%) auf 85 Gewichtsprozent. Bei Konzentrationen dieser Größenordnung scheint die Synthese z.B. von Stickstoffheterozyklen wie den Basen der Nukleinsäuren vorstellbar, wie die Autoren das im Titel ihrer Arbeit zum Ausdruck bringen.

Damit kann man die Veröffentlichung als ein weiteres Beispiel dafür betrachten, dass nur in begrenztem Umfang neue Erkenntnisse dokumentiert werden, diese aber durch die Verknüpfung mit dem die Fantasie anregenden Themenfeld der präbiotischen Lebensentstehung an prominenter Stelle erscheinen und damit die Chance haben, große Öffentlichkeitswirkung zu erzielen.

Bei einer kritischen Reflexion der Bedeutung der Thermophorese in porösen Schloten von heißen Tiefseequellen für die präbiotische Synthese von Biomolekülen bleibt eine Reihe von Fragen bisher unbeantwortet. Inwieweit spiegeln die modellierten Prozesse reale Abläufe in den Tiefseeschloten wider? Ist thermophoretische Anreicherung von Stoffen im Allgemeinen und organischer Verbindungen im Besonderen dort nachweisbar? Sollte das der Fall sein, dann erhebt sich weiter die Frage, ob dieser Anreicherungsprozess irgendeine Selektivität zeigt. Sollten sich die bisherigen Modellrechnungen bestätigen, dann scheint die Anreicherung eher allgemeinen Charakter zu haben. Das aber würde zu einer Lösung führen, die eine höhere Konzentration an *vielen* vorhandenen Chemikalien enthält und damit wenig zu einer *spezifischen* Synthese von erforderlichen Biomolekülen beitragen kann.

Insofern bleibt festzuhalten, dass thermophoretische Anreicherung in kapillaren Systemen ein sehr interessantes Phänomen ist, das technisch manche Anwendung ermöglicht.

Ob dieser Prozess tatsächlich in der Natur abläuft, bleibt ebenso zu zeigen wie auch, ob er das Potenzial hat, präbiotische Synthesen in irgendeiner Weise nachhaltig und spezifisch zu beeinflussen.

[BAASKE P, WEINERT FM, DUHR S, LEMKE KH, RUSSELL MJ & BRAUN D (2007) Extreme accumulation of nucleotides in simulated hydrothermal pore systems. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 104, 9346-9351 • BINDER H (2012) Wurde die RNA-Welt am Grunde des Ozeans etabliert? *Stud. Int. J.* 19, 61-62 • IMMING P (2015) Schritte ungeplanter, ungerichteter Entstehung von DNA und RNA? *Stud. Int. J.* 22, 42-45 • NIETHER D, AFANASENKAU D, DHONT JKG & WIEGAND S (2016) Accumulation of formamide in hydrothermal pores form prebiotic nucleobases. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 113, 4272-4277] H. Binder

■ Sortiermaschine für Nukleinsäuren – hilfreich zur Entstehung erster Erbinformation?

Die Arbeitsgruppe des Biophysikers DIETER BRAUN an der LMU München untersucht seit längerer Zeit den Einfluss von Temperaturgradienten auf wässrige Lösungen und wie sich die auftretenden Effekte auf die gelösten Stoffe auswirken (BINDER 2012, IMMING 2015). Ein Raum, in dem ein stabiles Temperaturgefälle etabliert ist, stellt physikalisch gesehen einen Nichtgleichgewichtszustand dar. Bei Gradienten, die nicht durch Energiezufuhr aufrechterhalten werden, gleichen sich die Unterschiede nach einer bestimmten Zeit aus und im gesamten Raum ist die Mischtemperatur messbar – ein Gleichgewicht hat sich eingestellt. Wird das Temperaturgefälle aufrechterhalten, so löst es z. B. in wässrigen Lösungen Konvektionsströme aus, die wir z. B. als Wärmewalzen in Kochtöpfen beobachten können. (Unten durch die Herdplatte aufgeheiztes Wasser, das aufgrund der geringeren Dichte zur Wasseroberfläche strebt und oben das relativ kältere Wasser, das aufgrund der größeren Dichte nach unten strebt. Dies kann zu sogenannten selbstorganisierten Strukturen, eben den Wärmewalzen, führen.) Außerdem neigen gelöste Stoffe dazu, sich im kälteren Bereich anzureichern. Bei Stoffen, die eine elektrische Ladung tragen, ist diese

Tendenz besonders stark ausgeprägt. Diesen letztgenannten Effekt bezeichnet man als Thermophorese oder auch als Soret-Effekt.

Gesteinsporen in heißen Tiefseequellen (sogenannte schwarze oder weiße Raucher) könnten ein natürliches Nichtgleichgewichtssystem mit einem etablierten Temperaturgradienten darstellen. Der Temperaturgradient kommt dadurch zustande, dass eine Seite der Porenwand durch heißes mineralhaltiges Wasser, das aus der Tiefe kommt, erhitzt und die andere Seite der Pore durch kaltes Ozeanwasser entsprechend gekühlt wird. Dieses Szenario hat BRAUN und seine Mitarbeiter dazu angeregt, in einem Labormodell diese Situation nachzustellen und zu untersuchen, wie sich z. B. Nukleinsäuremoleküle in der mit Wasser gefüllten Pore verhalten. Die teilweise erstaunlichen Effekte, die vermutete Übertragbarkeit des Labormodells auf natürliche Gegebenheiten und der mögliche Nutzen für die hypothetische Entstehung des Lebens wurden bereits kritisch diskutiert (BINDER 2012, IMMING 2015).

Nun haben MORASCH et al. (2016) in diesem Labormodell gezeigt, dass DNA-Moleküle sich aufgrund von kleinen Sequenzunterschieden (eine Base bei einem Polymer aus 36 Nukleotiden) auftrennen lassen und dass sie ohne weitere zugesetzte Chemikalien aufgrund der lokal erhöhten Konzentration

Gele bilden können. Dazu hatten die Autoren DNA-Moleküle aus 36 Nukleotiden synthetisiert, die so konzipiert (designed) worden waren, dass es innerhalb der Moleküle (intramolekular) zu komplementärer Basenpaarung kommt. Wenn sich aufgrund des Wärmeeinflusses die Basenpaare auftrennen, so sind einige Typen von DNA so gestaltet, dass sie sogenannte „klebrige“ Enden aufweisen. Diese ermöglichen es, dass sie sich mit DNA-Molekülen desselben Typs zu längeren Molekülaggregaten zusammenlagern und damit in der wässrigen Lösung ohne weitere Maßnahmen Gele bilden können. Diesen Prozess haben MORASCH et al. eindrucksvoll dokumentiert. In ihrem Fachartikel (MORASCH et al. 2016) spekulieren die Autoren darüber, dass vergleichbare Situationen („wärmegetriebene Fallen“) bei der Entstehung des Lebens weit verbreitet gewesen sein könnten. Sie behaupten, dass ihr Nichtgleichgewichtsmodell einen Beitrag dazu leisten könnte zu erklären, wie bei der Entstehung des Lebens sequenzspezifische Nukleinsäuremoleküle angereichert werden konnten.

Dabei bleibt natürlich zunächst einmal die Frage offen, inwieweit die hochkomplexe und spezifische Labortechnologie natürliche Prozesse bei der hypothetischen Selektion von Nukleinsäuremolekülen abbilden kann. Weiter ist zu bedenken, dass die Synthese von DNA-Strängen

mit 36 Nukleotiden bisher unter unspezifischen Bedingungen – wie sie für die Lebensentstehung angenommen werden müssen – nicht einmal ansatzweise gezeigt werden konnte. Eine Simulation mithilfe der sehr speziellen, intelligenten Techniken, wie sie im Labor von BRAUN und seinen Mitarbeitern genutzt wurden, ist von natürlichen Gegebenheiten weit entfernt. Selbst wenn all diese Fragen geklärt wären, bliebe immer noch zu bedenken, dass der vorgeschlagene Selektionsprozess zwar Unterschiede in der DNA-Sequenz für die Trennung und Anreicherung nutzen kann; aber die Relevanz der in dieser Sequenz abgebildeten Information bleibt unberücksichtigt. Diese ist aber im Blick auf das zu generierende lebende System von höchster Bedeutung. Die Titelformulierung in der Veröffentlichung der LMU – „Sortiermaschine des Lebens“ – erscheint unter den genannten Gesichtspunkten mehr als optimistisch.

[BINDER H (2012) Wurde die RNA-Welt am Grunde des Ozeans etabliert? Stud. Integr. J. 19, 61-62 • IMMING P (2015) Schritte ungeplanter, ungelenkter Entstehung von DNA und RNA? Stud. Integr. J. 22, 42-45 • MORASCH M, BRAUN D & MAST CG (2016) Heat-flow-driven oligonucleotide gelation separates single-base differences. Angew. Chem. 128, 6788-6791 • LMU Forschung: Sortiermaschine des Lebens https://www.uni-muenchen.de/forschung/news/2016/braun_ursprung-leben.html] H. Binder