

ter und schneller durch Hydrolyse gespalten. Das wurde zumindest an vergleichsweise kleinen organischen Arsenat-Estern demonstriert (BAER et al. 1981).

WOLFE-SIMON und ihre Mitarbeiter isolierten Bakterien (GFAJ-1), die sie aufgrund ihrer 16S rRNA-Sequenz als zu den Halomonadaceae gehörende Gammaproteobakterien identifizierten.

Die isolierten Bakterien wachsen in einem Medium ohne PO_4^{3-} -Zugabe in Gegenwart von 40 mM AsO_4^{3-} . Bei PO_4^{3-} -Zugabe wachsen sie schneller und wenn sowohl PO_4^{3-} als auch AsO_4^{3-} fehlen wird kein Wachstum beobachtet. Das Zellvolumen von GFAJ-1-Bakterien, die in Gegenwart von AsO_4^{3-} gewachsen sind, ist 1,5 mal größer verglichen mit Bakterien aus einem Medium mit PO_4^{3-} . Elektronenmikroskopische Aufnahmen lassen in den größeren Bakterienzellen Kompartimente (ähnlich wie Vakuolen) erkennen.

Mit massenspektrometrischen Methoden dokumentieren die Autoren einen hohen intrazellulären Gehalt an Arsen bei vergleichsweise geringen Mengen an Phosphor. Durch Experimente mit radioaktivem $^{73}\text{AsO}_4^{3-}$ konnte die Aufnahme von Arsen in die Zellen bestätigt und dessen Anwesenheiten in Protein-, Lipid- und Nukleinsäure-Fractionen nachgewiesen werden.

In der Publikation präsentieren WOLFE-SIMON et al. (2010) eine Reihe von Hinweisen, dass Arsen von Bakterienzellen aufgenommen wird. Allerdings sind die Befunde dafür, dass Arsen in Nukleinsäuren und Proteine eingebaut wird, zumindest in der bisher vorgelegten Form noch nicht letztlich überzeugend und so wurden nicht nur aufgrund der provokanten Präsentation unmittelbar kritische Fragen gestellt und kontroverse Diskussionen ausgelöst (z. B.: <http://rrresearch.blogspot.com/2010/12/arsenic-associated-bacteria-nasas.html> und http://scienceblogs.com/webeasties/2010/12/guest_post_arsenate-based_dna.php). Inzwischen haben die Autoren im Internet in vorläufiger Form zu einigen Fragen Stellung bezogen (<http://www.universe>

today.com/81783/scientists-from-arsenic-bacteria-paper-respond-to-criticisms/).

Bevor Biochemiebücher erweitert werden und über ursprüngliche Lebensformen diskutiert wird, sollten noch eindeutige und belastbarere Belege vorgelegt werden. In Computermodellen lassen sich Atome einfacher in Bio-Makromolekülen austauschen, als dies biochemisch in Organismen realisiert werden kann. Jüngst haben FEKRY et al. (2011) auf die kinetischen Herausforderungen hingewiesen, die ein Organismus überwinden muss, wenn er mit labilem As-Diester-DNA-Rückgrat existieren will. TAWFIK & VIOLA (2011) haben publizierte biochemische Erkenntnisse über Arsenat und Phosphat nutzende Enzyme zusammengefasst und diskutiert. Man darf auf den weiteren Verlauf der Diskussion und neue Untersuchungen gespannt sein.

[BAER CD, EDWARDS JO & RIEGER PH (1981) Kinetics of the hydrolysis of arsenate (V) triesters. Inorg. Chem. 20, 905-907; FEKRY MI, TIPTON PA & GATES KS (2011) Kinetic consequences of replacing the internucleotide phosphorous atoms in DNA with arsenic. Chem. Biol. 6, 127-130; TAWFIK DS & VIOLA RE (2011) Arsenate replacing phosphate: alternative life chemistries and ion promiscuity. Biochem. 50, 1128-1134; WOLFE-SIMON F, DAVIES PCW & ANBAR AD (2009) Did nature also choose arsenic? Int. J. Astrobiol. 8, 69-74; WOLFE-SIMON F, SWITZER BLUM J, KULP TR, GORDON GW, HOEFT SE, PETT-RIDGE J, STOLZ JF, WEBB SM, WEBER PK, DAVIES PCW, ANBAR AD, OREMLAND RS (2010) A bacterium that can grow by using Arsenic instead of phosphorus. Scienceexpress 10.1126/science.1197258] H. Binder

■ Erbsenlaus-Bakterien-Symbiose auf molekularer Ebene untersucht

Die Kooperation (Symbiose) zwischen Erbsenlaus (*Acyrtosiphon pisum*) und Bakterien ist seit vielen Jahrzehnten bekannt und detailliert beschrieben (SCHERER 2007). Die Erbsenlaus gehört zu den Blattläusen (*Amphidoidea*). Ihr Genom ist sequenziert (IAGC 2010), ebenso das Genom von *Buchnera aphidicola*, eines in *A. pisum* symbiotisch lebenden Bakteriums (PEREZ-BROKAL et al. 2006).

Buchnera und Erbsenläuse leben in echter Symbiose, d. h. beide sind aufeinander angewiesen und kön-

nen ohne den Partner nicht existieren und sich nicht fortpflanzen. Die Bakterien leben in den Blattläusen in spezialisierten Zellen, den Bakteriocyten.

Proteine gehören zu den elementaren Komponenten aller Organismen; die zu ihrer Synthese notwendigen Aminosäuren müssen entweder mit der Nahrung aufgenommen oder mithilfe des eigenen Stoffwechsels (Anabolismus) hergestellt werden. Für Tiere sind von den 20 Aminosäuren, die typischerweise am Aufbau von Proteinen beteiligt sind, 10 essentiell, d. h. sie können diese nicht selbst produzieren.

Blattläuse durchstechen Pflanzengewebe oder bohren hinein und ernähren sich von Pflanzensäften. Diese wässrigen Lösungen enthalten aber wenig Stickstoff und auch der Anteil an essentiellen Aminosäuren ist ausgesprochen gering. HANSEN & MORAN (2011) haben nun die Nutzung (Expression) von Genen in den Bakteriocyten im Vergleich zu anderen Gewebezellen in Erbsenläusen untersucht, indem sie jeweils die RNA analysierten. Da die RNA direkt an der Erzeugung der für die Biosynthese notwendigen Enzyme beteiligt ist, liefert sie Informationen über Stoffwechselwege und deren Intensität. Daneben nutzten die Autoren noch weitere Stoffwechselanalysen sowie die bekannten Genomdaten.

Es zeigte sich, dass aus dem Genom der Erbsenlaus (*A. pisum*) von den 11089 Genen in den Bakteriocyten 85,7% genutzt werden gegenüber 86,9%, die in anderen Körperzellen exprimiert werden. 404 Gene waren in den Bakteriocyten vermehrt genutzt, während 996 im Vergleich zu anderen Zellen aus dem Gewebe *A. pisum* herunterreguliert waren.

Im Genom von *Buchnera* sind zwar die meisten Gene für die Biosynthese der essentiellen Aminosäuren vorhanden, einzelne allerdings fehlen ebenso wie die meisten Gene für die nicht essentiellen Aminosäuren. HANSEN & MORAN fanden nun heraus, dass 26 Gene, die an der Biosynthese von Aminosäuren beteiligt sind, in den

Bakteriocyten hochreguliert sind, d. h. von ihnen werden mehr Kopien erzeugt und damit entsprechend mehr Enzymmoleküle bereitgestellt. Unter den vermehrt genutzten Genen befinden sich auch sieben, die in *Buchnera* für die Biosynthese essentieller Aminosäuren fehlen. Für die Herstellung von fünf nicht essentiellen Aminosäuren sind weitere Gene in den Bakteriocyten intensiver genutzt, welche die Bakterien verloren haben. Darüber hinaus sind in den Bakteriocyten zwei Gene hochreguliert (für Glutaminsynthetase und Glutamatsynthase), die beim Recycling von Stickstoff eine bedeutsame Rolle spielen. Sie könnten die Verfügbarkeit von Stickstoff für die Aminosäure-Biosynthese sicherstellen.

Die Untersuchungen von HANSEN & MORAN belegen, dass in der Symbiose zwischen Erbsenlaus (*A. pisum*) und Bakterien (*Buchnera*) Gene aus dem gesamten Genom des Wirts in einer koordinierten Weise für den Stoffwechsel der Bakterien exprimiert werden, die u. a. Aminosäuren liefern, welche Erbsenläuse nicht selbst synthetisieren können. Die Bakterien nutzen dazu die Genprodukte aus dem Wirtsorganismus. Umgekehrt werden nicht essentielle Aminosäuren vom Wirt für die Bakterien hergestellt. Die Autoren sprechen im Blick auf den Aminosäure-Stoffwechsel in dieser Symbiose aus Erbsenlaus als Wirt und *Buchnera* als Symbiont von einem integrierten Netzwerk. Beide Partner nutzen ihre Genome hinsichtlich verschiedener Stoffwechselwege komplementär.

Die Untersuchungen werfen Fragen auf: Worauf beruht diese Flexibilität der Lebewesen? Wie kann man sich die Entstehung der hier beobachtbaren komplexen Koordination vorstellen und erklären?

Man darf auf weitere vergleichbare Untersuchungen gespannt sein vor allem unter dem Gesichtspunkt, ob man Hinweise finden kann, wie diese komplementäre Nutzung zweier ursprünglich unabhängigen Genome initialisiert wird.

[HANSEN AK & MORAN NA (2011) Aphid ge-

nome expression reveals host-symbiont cooperation in the production of amino acids. Proc. Natl. Acad. Sci. USA doi/10.1073/pnas.1013465108; International Aphid Genomics Consortium: Genome Sequence of the Pea Aphid *Acyrthosiphon pisum*. Plos Biology 8, 2, e1000313, Februar 2010 doi: 10.1371/journal.pbio.1000313; PEREZ-BROCAL V, GIL R, RAMOS S, LAMELAS A, POSTIGO M, MICHELENA JM et al. (2006) A small microbial genome: the end of a long symbiotic relationship? Science 314, 312-313; SCHERER S (2007) Bakterielle Endosymbionten von Pflanzenläusen mit stark reduzierten Genomen. Stud. Int. J. 14, 66-73.] H. Binder

■ Hornissen erzeugen möglicherweise Solarstrom

Solarzellen sollen helfen, den Energiehunger der Menschheit zu stillen, indem die Energie des Sonnenlichts zu elektrischem Strom umgewandelt wird. Dass menschliche Ingenieure nicht die ersten waren, die diese Technik erfunden haben, zeigten israelische und britische Wissenschaftler durch aufwändige Untersuchungen an Hornissen. In Anlehnung an Beobachtungen von J.S. ISHAY von der University of Tel Aviv Anfang der 1990er Jahre (NACHTIGALL 2002, 331) nahmen sie das außergewöhnliche Verhalten von Orientalischen Hornissen (*Vespa orientalis*) zum Anlass, eine interessante These zu untersuchen: *V. orientalis* könnte anhand ihrer speziell konstruierten Cuticula (äußere Körperdecke) Fotovoltaik betreiben, um diese zusätzliche Energiequelle während ihrer Hauptaktivitätsphase zu nutzen.

Die Forscher um Marian PLOTKIN veröffentlichten ihre erstaunlichen Ergebnisse 2010 in der deutschen Fachzeitschrift *Naturwissenschaften*.

Anlass für die komplexen Untersuchungen war die Tatsache, dass das Aktivitätsmaximum dieser Wespe im Gegensatz zu anderen Wespenarten während der heißen Mittagsstunden zu beobachten ist. Die Arbeiterinnen von *V. orientalis* verrichten ausgerechnet zu dieser Tageszeit beim Anfertigen unterirdischer Baue die schwerste Arbeit! Um den Boden mit ihren Mandibeln abzugraben und den Aushub in einige Entfernung vom Bau auszufliegen, müssen die Arbeiterinnen besonders hohe Energieleistungen erbringen.

Die beteiligten Wissenschaftler analysierten deshalb außerordentlich detailliert die biophysikalischen Eigenschaften der Cuticula dieser Wespe, die zur Entdeckung ganz spezieller Nano-Strukturen und bio-elektrischer Eigenschaften führte.

Das Sonnenlicht dringt in die 3 äußeren gitterförmig aufgebauten Schichten des Chitin-Panzers (Epi-, Exo-, und Endocuticula) des Hinterleibs ein. Es kommt im Bereich dutzender Feinschichtungen zur effizienten Absorption der Strahlung. Dies geschieht in den durch das Pigment Melanin braun gefärbten, sowie durch Xanthopterin

Abb. 1 Hornisse (Foto: Winfried BORLINGHAUS)

