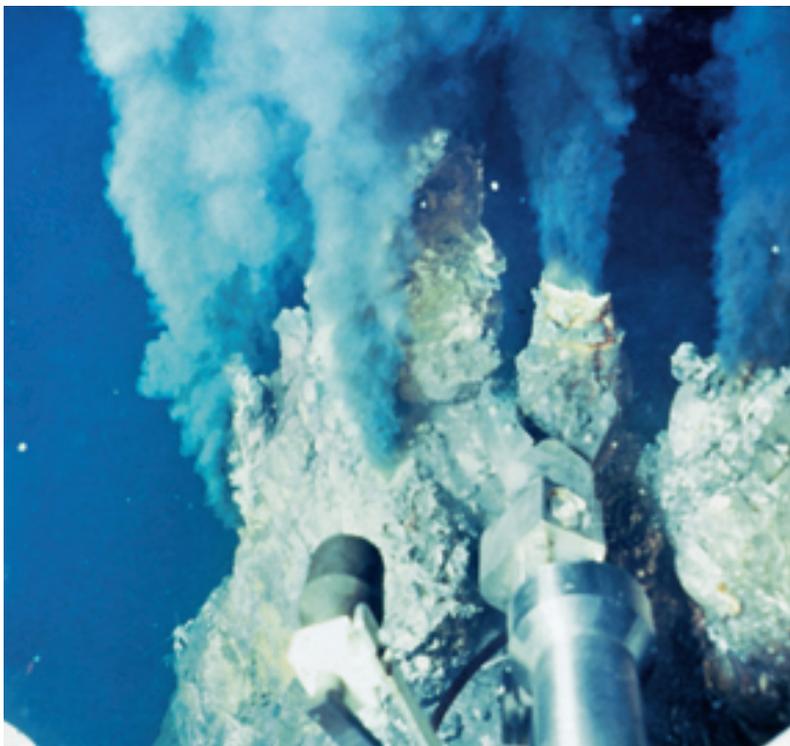


# Manche mögen's salzig

## Anpassungsstrategien und Biotechnologie Salz liebender Mikroorganismen

von Volker Müller Sie lieben extreme Bedingungen: Einige leben in tiefen Gesteinsschichten oder ohne Licht und Sauerstoff an kochend heißen Quellen der Tiefsee, andere bevorzugen die eisigen Temperaturen der Polargebiete, und wieder andere fühlen sich erst richtig wohl in kochender Schwefelsäure. Doch wie passen sich Mikroorganismen an diese extremen Bedingungen an? Die Forschung hat darauf bereits Antworten gefunden, die sich auch biotechnologisch nutzen lassen.



■ Die »schwarzen Raucher«, Hyperthermalquellen der Tiefsee, sind die Heimat einiger Methan bildender Archäen. In vollkommener Dunkelheit und bei Temperaturen von bis zu 130 °C gewinnen sie Energie aus Gasen, die aus dem Erdinneren aufsteigen. Aus Kohlendioxid und elementarem Wasserstoff bilden sie Methan, das auch als Sumpfgas bekannt ist.

Während die meisten unter extremen Bedingungen lebenden (extremophilen) Mikroorganismen erst in jüngster Zeit entdeckt wurden, sind Salz liebende (halophile) schon seit längerem bekannt. Dies liegt nicht zuletzt an der besonderen Bedeutung des Salzes, das lange Zeit als Konservierungsmittel ein begehrtes Handelsgut war (siehe »Die blutigen Wasser des Nils«, Seite 47). Salzhaltige Standorte sind auf unserem Planeten weit verbreitet und bilden die Basis für außergewöhnliche Ökosysteme. Mikroorganismen sind darin die wichtigsten und teilweise alleinigen Lebewesen. Die ersten Untersuchungen zur Mikrobiologie von salzhaltigen Standorten liegen etwa 100 Jahre zurück. Seinerzeit wurden die ersten Mikroben aus Salzlake und gesalzenen Lebensmitteln isoliert und beschrieben. Während man früher annahm, dass die Fähigkeit zum Wachstum an extrem salzhaltigen Standorten auf wenige Spezies beschränkt ist, weiß man heute, dass viele Mikroorganismen aus sehr unterschiedlichen Taxa diese Fähigkeit besitzen. Sie ist anzutreffen bei den Archäen (Archaeobakterien) und Bakte-

rien, aber auch bei einigen niederen Eukaryoten wie der einzelligen Alge *Dunaliella*.

Dabei zeigen sich die Salz liebenden Mikroorganismen als äußerst erfinderisch in Bezug auf ihren Stoffwechsel: Man findet das ganze Spektrum von der Atmung über die Gärung bis hin zur Photo- oder Chemosynthese. Diese Biodiversität an extrem salzhaltigen Standorten ist auch auf die unterschiedliche Lage und den Ursprung der Ökosysteme zurückzuführen. Die Standorte unterscheiden sich nach pH-Wert und Natur des Salzes dramatisch und stellen damit auch unterschiedliche Ansprüche an Überlebensstrategien: Während die Salzweiden der deutschen Nordseeküste vor allem Kochsalz enthalten, sind die Seen des ostafrikanischen Grabenbruchs typische Sodaseen mit einem hohen Carbonat-Gehalt und damit alkalischen pH-Werten.<sup>11</sup>

### Salz trocknet Zellen aus

Halophile Mikroben werden aufgrund ihrer Salzabhängigkeit in die moderat Halophilen und die extrem Halophilen eingeteilt. Während die moderat Halophilen Salzwasserkonzentrationen mögen, die etwa drei bis sechs Mal so hoch sind wie die der Nordsee (sie enthält 2,5 Prozent Kochsalz), wachsen die extrem halophilen bei einer sechs- bis zwölfmal so hohen Salzkonzentration. Gewöhnliche Zellen trocknen unter diesen Bedingungen sehr schnell aus, denn das Wasser aus dem Zellinneren diffundiert durch die Zellmembran nach außen, um das Konzentrationsgefälle auszugleichen. Biochemische Prozesse verlangsamen sich und die Zelle stirbt. In der Natur haben sich zwei Strategien entwickelt, diesen »Salz-Stress« zu vermeiden. Zum einen gibt es Organismen, die im wässrigen Cytoplasma ihrer Zellen soviel Kaliumchlorid (KCl) anreichern, dass der Druck gegen die Zellwand (Turgor) ausgeglichen wird. Dies trifft man hauptsächlich bei extrem halophilen Organismen an. Allerdings müssen die zellulären Maschinerien an diese extrem hohen intrazellulären Kaliumkonzentrationen angepasst werden. Dadurch ist das Wachstum der Organismen häufig auf einen engen Salzbereich begrenzt.

Eine weitaus flexiblere Strategie besteht darin, andere lösliche Stoffe im Zytoplasma anzureichern, die mit dem Stoffwechsel der Zelle verträglich sind. Auf diese Weise kann der Turgor der Zellen über einen weiten Bereich verändert werden. Dies ist vor allem für haloto-



lerante und moderat halophile Bakterien wichtig, die in Ökosystemen mit häufig schwankenden Salzkonzentrationen leben. Eine der wichtigen Fragen für die Grundlagenforschung ist dabei, wie die Zellen die Salzkonzentration des Mediums messen, wie Enzyme ihre Aktivität entsprechend verändern und die Expression der genetischen Information verändert wird. Diesen Fragen haben wir uns in den letzten Jahren an zwei Modellsystemen mit hoher ökologischer Relevanz gewidmet.

### Ursprünge des Lebens in heißen Tiefseequellen

Zu den Salz liebenden Mikroorganismen gehören auch einige Methan bildende Archäen (Methanogene). Ihre Heimat sind zum Beispiel die Hyperthermalquellen der Tiefsee, die »schwarzen Raucher«. **1** Dort sind sie eines der ersten Glieder einer Organismen-Gemeinschaft, die in vollkommener Dunkelheit bei Temperaturen von bis zu 130 °C Energie aus Gasen gewinnen, die aus dem Erdinneren aufsteigen. Kohlendioxid und elementarer Wasserstoff werden zu Methan (Sumpfgas) umgesetzt. Viele Wissenschaftler sehen die Lebensgemeinschaften an den

schwarzen Rauchern und ihre Lebensweise, die nur in Archäen anzutreffen ist, als Ursprung des Lebens (siehe »Leben im All?«, S. 49). Für den Stoffwechsel sind eine Reihe von einzigartigen Enzymen und Kofaktoren mit ungewöhnlicher biochemischer Wirkweise entscheidend. <sup>2/</sup> Unser Labor hat sich in den letzten 20 Jahren vor allem mit der Art der Energiegewinnung befasst und dabei neuartige membrangebundene Enzyme entdeckt. <sup>3/</sup> Weitergehende Fragen nach der Struktur und Funktion werden jetzt im Sonderforschungsbereich »Molekulare Bioenergetik« untersucht. Da für die Methanogenen schon geringste Spuren von Sauerstoff tödlich sind, können sie im Labor nur in speziellen Inkubationskammern gezüchtet und manipuliert werden. **2**

Wichtige Hinweise, wie die Methanogenen mit ihrer Umwelt wechselwirken, erhielten wir aus der Entschlüsselung des Genoms unseres »Haustierchens«, des Archäons *Methanosarcina mazei*. Der Vergleich der Expressionsmuster sämtlicher Gene des Genoms in Salz-gestressten und nicht gestressten Zellen führte zur Entdeckung von 84 Genen, die differenziell in Abhängigkeit von den herrschenden Bedingungen reguliert werden. <sup>4/</sup> Dies sind 2,5 Prozent aller Gene der Zelle. Durch nachfol-

**2** Ein typisches Anaerobenzelt in der Abteilung des Autors. Da die Mikroorganismen unter der Einwirkung von Sauerstoff sterben, sind die Zelte mit Stickstoff gefüllt. Der Experimentator reicht über die Handschuhe ins Zeltinnere.

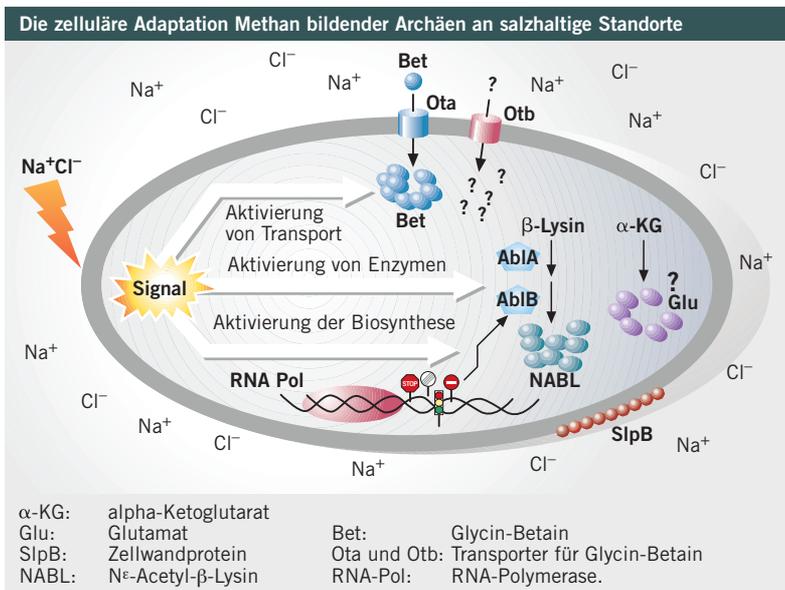
### Die blutigen Wasser des Nils



Eine Anlage zur Gewinnung von Salz am Roten Meer in Eilat, Israel. Die rote Farbe stammt von den Carotinoiden der Mikroorganismen. Am Rande sind weiße, kristalline Ausfällungen (Salz).

Kochsalz (NaCl) ist essenziell für die Ernährung von Mensch und Tier, und das »Einsalzen« (Pökeln) ist das älteste Verfahren zur Haltbarmachung von Lebensmitteln. Daher hat Salz von jeher eine besondere Bedeutung für den Menschen. Handelsstraßen werden noch heute als Salzstraßen bezeichnet, in der

Namensgebung vieler Ortschaften spiegelt sich die Salzgewinnung wieder, wegen Salz wurden Kriege geführt und mit Salz wurde bezahlt. Noch heute erinnert die Bezeichnung für Lohn (Salär, engl. salary) an diese Bedeutung. Eine immer noch wichtige Methode der Salzgewinnung ist die Verdunstung von Meerwasser in großen, flachen Becken, wie sie für den Mittelmeerraum typisch sind. Von der Anwesenheit carotinoid-haltiger halophiler Archäen zeugt die rötliche Färbung des Wassers. Auch die Erscheinung des »blutigen Wassers« des Nils, eine der zehn Plagen Ägyptens, ist wahrscheinlich auf das Wachstum von Mikroben zurückzuführen. Aber auch die im Sommer anzutreffende Rotverfärbung von gesalzener Fisch geht auf das Wachstum der Mikroben zurück.

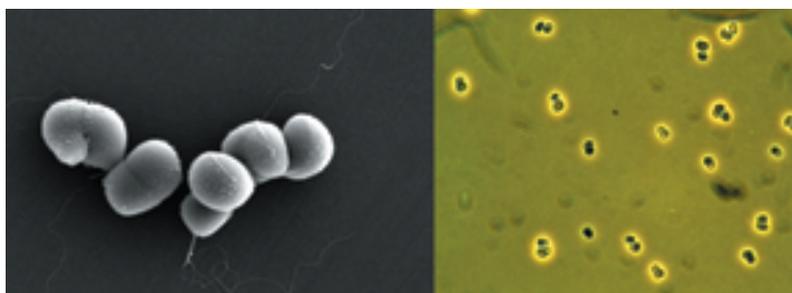


Das Modell basiert auf genomweiten Expressionsanalysen und physiologischen, biochemischen und genetischen Arbeiten der Arbeitsgruppe des Autors. Der Salzstress aktiviert Transportvorgänge und Enzyme für die Biosynthese von Osmolyten. Er führt darüber hinaus zur Expression von Genen, deren Produkte die Akkumulation von Osmolyten fördern. Der Biosyntheseweg für Glutamat und die Natur des »Signals« sind noch unbekannt. Neben den gezeigten sind noch weitere Adaptationen notwendig.

gende physiologische und biochemische Untersuchungen haben wir jetzt zum ersten Mal ein Bild der zellulären Antwort der Salzadaptation im methanogenen Archäon *M. mazei*. Bei Salz-Stress nimmt die Zelle das kompatible Solut Glycine-Betain auf, eine niedermolekulare Substanz, die ein Gegengewicht zur Salzkonzentration außerhalb der Zelle bildet. Erkennbar wird dies an der dramatisch erhöhten Expression des zugehörigen Transportergens (*ota*) und der zunehmenden Transportaktivität.

Steht kein Glycin-Betain im umgebenden Medium zur Verfügung, können die Zellen aber auch Solute selbst synthetisieren, um den Zelldruck auszugleichen. Bei mittelgroßen Salzgehalten bildet *M. mazei* zunächst Glutamat, bei höheren Konzentrationen ein neues Solut, das bisher nur in Methanogenen gefunden wurde: N<sup>ε</sup>-Acetyl- $\beta$ -Lysin. Dieses Solut wird in fast 1-molarer Konzentration akkumuliert, was für eine Zelle eine hohe Konzentration darstellt. Durch eine Kombination biochemischer und genetischer Methoden haben wir die Biosynthese von N<sup>ε</sup>-Acetyl- $\beta$ -Lysin aufgeklärt.

Neben der Zelldruck-Regulation produzieren die salzadaptierten Zellen aber auch Proteine für andere Prozesse: Diese pumpen die für die Zelle giftigen Natrium-Ionen aus den Zellen, stellen die Energieversorgung sicher, kontrollieren die Proteinfaltung oder verändern die Struktur der Zelloberflächen. Gerade letzteres war

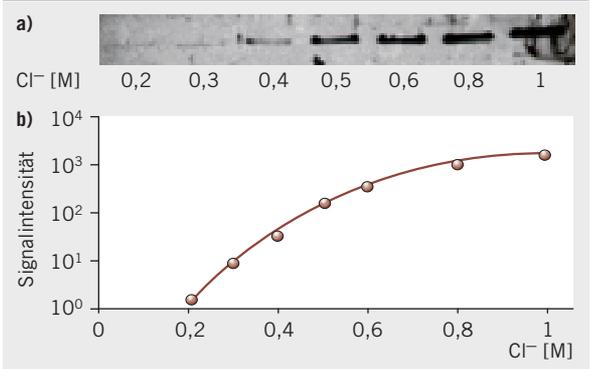


ein überraschendes Ergebnis. Die Produktion von Oberflächenproteinen mit höherer Ladungsdichte könnte zum Abfangen von Salzen auf der Oberfläche führen und zur Salztoleranz der Zellen beitragen.

### Angepasst an schwankende Salzgehalte

In den Salzmarschen der Insel Sylt lebt das moderat halophile Bakterium *Halobacillus halophilus*. Es besitzt eine erstaunliche Fähigkeit, sich an starke Schwankungen des Salzgehalts in seiner Umgebung anzupassen. So wächst es bei Salzkonzentrationen zwischen 5 und 15 Prozent Kochsalz (NaCl) gleichbleibend gut. Nach der Überflutung mit Meerwasser haben die Salzmarsche zunächst die Konzentration des Meerwassers, bei Sonnenschein steigt sie aber durch Ausdunstung enorm an. In trockeneren Perioden wird die Salzkonzentration dann zusätzlich durch konstanten Eintrag von Salzwasser über den Meereswind erhöht. Neben dem Bedürfnis nach »Salz« zeichnet sich *H. halophilus* dadurch aus, dass es spezifisch Natrium-, Chlorid- und Magnesium-Ionen benötigt. Von Natrium- und Magnesium-Ionen war bereits bekannt, dass sie im bakteriellen Stoffwechsel eine entscheidende Rolle spielen. Eine Chlorid-Abhängigkeit war dagegen bisher unbekannt. Diese Entde-

### Der zelluläre Flagellengehalt wächst mit der Chloridkonzentration



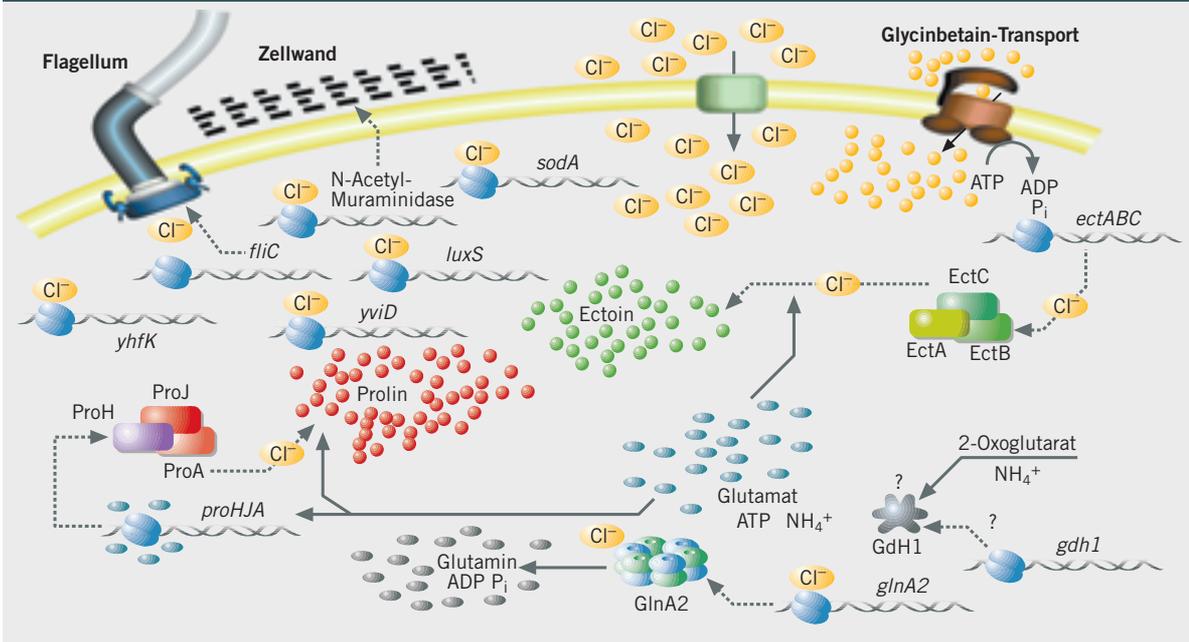
Fehlt *Halobacillus halophilus* das Chlorid, können die Zellen sich nicht mehr bewegen. Der Grund: Chlorid ist notwendig für die Synthese des Flagellin-Proteins, einer strukturellen Untereinheit der Geißel. Die Experimente wurden unter isoosmotischen Bedingungen und steigender Chlorid-Konzentration durchgeführt. Flagellin wurde in den Zellen immunologisch mittels eines Antikörpers gegen Flagellin aus *H. halophilus* (a) nachgewiesen. In (b) ist die Menge (Signalintensität) gegen die Chloridkonzentration aufgetragen.

ckung haben wir zum Anlass genommen, das Chlorid-Bedürfnis näher zu untersuchen und dessen molekulare Grundlagen zu entschlüsseln.

Durch vergleichende Analysen des Proteinmusters von Zellen, die unter verschiedenen Bedingungen gewachsen sind, haben wir einen Zusammenhang mit dem bakteriellen Bewegungssystem gefunden. Es gibt Proteine, die nur in Gegenwart von Chlorid nachzuweisen sind. Eins davon ist die strukturelle Untereinheit der Geißel (Flagellum), mit der Bakterien sich fortbewegen. Fehlt das Chlorid, können die Zellen sich nicht mehr bewegen. Wir

Der prokaryotische Modellorganismus *Halobacillus halophilus* in elektronenmikroskopischer (links) und lichtmikroskopischer (rechts) Aufnahme.

Das Chlorid-Regulon von *Halobacillus halophilus*

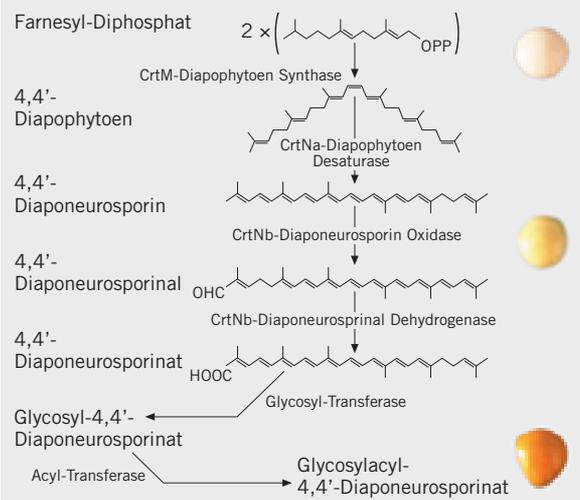


**6** Chlorid wird in die Zellen aufgenommen und aktiviert dort die Expression von Genen wie *fliC*, *yviD*, *luxS*, *yhfK* und einer N-Acetyl-Muraminidase. Daneben sorgt Chlorid dafür, dass die gezeigten Enzyme für die Biosynthese der kompatiblen Solute in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. Für die Aufrechterhaltung des Zelldrucks (Turgors) wird, basierend auf experimentellen Daten, ein zweistufiges Modell vorgeschlagen. Bei intermediären Salzkonzentrationen bildet der Organismus zunächst Glutamat und Glutamin, wobei deren Konzentration über Chlorid als Messgröße eingestellt wird. Steigt die externe Salzkonzentration weiter, übersteigt die interne Glutamatkonzentration einen Schwellenwert und aktiviert die Biosynthese von Prolin. Bei höheren Salzkonzentrationen liegen dann hauptsächlich Prolin und Ectoin als Solute vor.

Leben im All?

Ursprüngliche Lebensformen, wie die unter strikt sauerstofffreien Bedingungen lebenden Methanogenen in den »schwarzen Rauchern« der Tiefsee, könnten das Leben auf unserem Planeten begründet haben. Solche Lebensformen werden auch immer wieder als Modelle für mögliche außerirdische Lebensformen genommen, einer der Gründe, warum der Nachweis von Methan auf fernen Planeten für verhaltene Aufregung sorgt. Halophile Mikroben wachsen nicht nur bei hohen Salzkonzentrationen, sondern auch bei größerer Trockenheit. Wenn Prokaryonten auf der Erde in trockenen Gebieten wachsen, könnten sie dies möglicherweise auch auf fernen Planeten, auf denen wir kein Wasser nachweisen können.

Hypothetischer Biosyntheseweg eines neuen Carotinoids aus *Halobacillus halophilus*



**7** Carotinoide wie das  $\beta$ -Carotin werden weltweit großtechnisch produziert, etwa als fargebende Komponente oder als Pro-Vitamin A in der Lebensmittelindustrie. Auch in Bräunungsmitteln und Lichtschutzcremes kommt es vor. Der Biosyntheseweg eines neuen Carotinoids aus *H. halophilus* wurde durch biochemische und genetische Analysen in Zusammenarbeit mit Prof. Gerhard Sandmann, Institut für Molekulare Biowissenschaften der Goethe-Universität, aufgeklärt.

konnten nachweisen, dass die Zugabe von Chlorid für die Synthese des Flagellin-Proteins essenziell ist. **5** Dies war der erste Nachweis einer Chlorid-abhängigen Genexpression und Proteinproduktion in Prokaryonten.

Interessanterweise zeigt *H. halophilus* einen salzabhängigen Wechsel seiner Strategie, je nachdem, wie hoch die Salzkonzentration in seiner Umgebung ist. **6** Durch genetische und biochemische Analysen, die Genexpression, Proteinbildung, enzymatische Aktivitäten und Produktbildung einschlossen, konnten wir zeigen, dass die Zellen über die Chlorid-Konzentration des Mediums die Glutamat- und Glutaminkonzentration innerhalb der Zelle einstellen.<sup>16/</sup> Übersteigt die Glutamatkonzentration einen bestimmten Schwellenwert, beginnt die Produktion von Prolin.<sup>17/</sup> Die Expression der Prolin-Biosynthesegene wird dramatisch durch die Glutamatkonzentration in den Zellen beeinflusst. Aufgrund dieser Erkenntnisse postulieren wir einen neuartigen, zweistufigen Mechanismus der Salz-Messung innerhalb der Zelle. Im ersten Schritt dient Chlorid als Signalmolekül für die Glutamatbildung. In einem zweiten Schritt dient dann Glutamat als weiterer Botenstoff, der die Prolinbildung in Gang setzt.

Neben der Biosynthese von Soluten ist Chlorid auch für die Aufnahme von Glycin-Betain essenziell. Viele weitere, hier nicht erwähnte zelluläre Prozesse konnten wir als Chlorid-abhängig identifizieren. *H. halophilus*

verfügt damit über das erste Chlorid-abhängige Regulationsnetzwerk, das in Prokaryonten gefunden wurde. **6** Weitere molekulare Details sind Gegenstand zusätzlicher Untersuchungen, die durch die Entschlüsselung des Genoms von *H. halophilus* künftig deutlich erleichtert werden. Das Genom haben wir in Zusammenarbeit mit Prof. Dieter Oesterhelt vom Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried zwei Tage vor Weihnachten 2007 vollständig entschlüsselt.

### Schutz für gealterte, trockene oder irritierte Haut

In der Lebensmittel-Biotechnologie stellt man mit Halophilen Sauerkraut, eingelegte Gurken und andere fermentierte Lebensmittel durch Milchsäuregärung her. Für die Herstellung von Sauerkraut wird das Material luftdicht verschlossen und mit etwa 1,5 Prozent des Eigengewichtes mit Kochsalz versetzt. Das Salz verhindert, dass ungewünschte Mikroorganismen wachsen und fördert die Gärung von Milchsäurebakterien, die eine salzreiche Umgebung tolerieren. In anderen, asiatischen Lebensmitteln wie Sojasauce, die ebenfalls unter Beteiligung der Milchsäuregärung entstehen, ist die Salzkonzentration sogar noch höher.

Bei moderneren biotechnologischen Anwendungen mit halophilen Mikroben stehen Carotinoide und kompatible Solute im Zentrum des Interesses. Carotinoide wie das  $\beta$ -Carotin, das in der Natur in der Alge *Dunaliella* vorkommt, werden weltweit großtechnisch produziert. Sie schrieben die erste Erfolgsstory in der biotechnologischen Nutzung halophiler Organismen: In der Lebensmittelindustrie dient das  $\beta$ -Carotin als farbgebende Komponente, als Pro-Vitamin A und als Zusatz zu »Designer health food«. In Kosmetika kommt es in

Bräunungsmitteln und Lichtschutzcremes vor. **7** Daneben haben die kompatiblen Solute aus Halophilen in den letzten Jahren einen wahren Boom in der Biotechnologie ausgelöst. Solute wie die Tetrahydropyrimidine Ectoin und Hydroxyectoin, die zuerst in dem photosynthetischen Bakterium *Ectothiorhodospira* gefunden wurden, können Proteine, Enzyme, DNA, Membranen und auch ganze Zellen effektiv schützen gegenüber Salz-Stress, aber auch Hitze, Trockenheit und Einfrieren. Ectoin wird kommerziell mit Hilfe eines Verfahrens produziert, das sich »Bakterienmelken« nennt. Die Kosmetikbranche verwendet es als Feuchtigkeitsmittel zur Pflege gealterter, trockener oder irritierter Haut. Daneben hat es erstaunliche, teilweise noch nicht verstandene positive Effekte auf das hauteigene Immunsystem.

Die biotechnologische Anwendung von Produkten aus Halophilen hat gerade erst begonnen. Die Biodiversität der Halophilen läßt neue Solute wie das hier vorgestellte  $N^{\epsilon}$ -Acetyl- $\beta$ -Lysin erwarten. Dieses Solut wurde bisher nur in Methanogenen gefunden. Ob ihrer schwierigen Kultivierung, die nur wenige Arbeitsgruppen beherrschen, ist das Studium der biotechnologischen Anwendung von  $N^{\epsilon}$ -Acetyl- $\beta$ -Lysin noch nicht weit fortgeschritten. Durch die Fortschritte der Molekularbiologie und Genetik der Methanogenen kann dies aber in naher Zukunft in Angriff genommen werden. *H. halophilus* produziert auch Ectoin und die Biosynthese-Enzyme sind bekannt. Die geplanten Veränderungen ihrer Struktur sollen Produkte mit neuen Eigenschaften hervorbringen. Darüber hinaus haben wir in Zusammenarbeit mit Prof. Gerhard Sandmann im Institut für Molekulare Biowissenschaften der Johann Wolfgang Goethe-Universität ein neues Carotinoid in *H. halophilus* gefunden, dessen biotechnologisches Potenzial noch überprüft werden muss.

Standorte mit extremen Lebensbedingungen wie heiße Quellen, Sodaseen, Salzwüsten und die Polargebiete besitzen eine reichhaltige Biodiversität, deren Ökophysiologie wir erst zu verstehen beginnen. Neben grundsätzlich neuen Stoffwechselltypen und Anpassungsstrategien, die es dort zu entdecken gibt, bergen diese Organismen ein enormes Potenzial für die Anwendung. Inzwischen gibt es von einer Kultivierung im Labor unabhängige, molekulare Verfahren, mit denen wir die Gesamt-DNA aller Lebewesen eines Standorts isolieren und auf ihre Eignung zur Produktion interessanter Proteine überprüfen können. Dies ist ein beachtlicher Fortschritt, der für die Biotechnologie ungeahnte Möglichkeiten eröffnet. **◆**

#### Literatur

<p><sup>1/1</sup> Ventosa, A., Nieto, J.J., and Oren, A., (1998), <i>Microbiol. Mol. Biol. Rev.</i>, 62, S. 504–544.</p> <p><sup>1/2</sup> Thauer, R.K., (1998), <i>Microbiology</i>, 144, S. 2377–406.</p>	<p><sup>1/3</sup> Deppenmeier, U. and Müller, V., <i>Life close to the thermodynamic limit: how methanogenic archaea conserve energy</i>, in <i>Results Probl. Cell. Differ.</i>, D. Richter and H. Tiedge, Editors, 2007, Springer: Heidelberg.</p>	<p><sup>1/4</sup> Pflüger, K., Müller, V., et al., (2007), <i>FEMS Microbiol. Lett.</i>, 277, S. 79–89.</p> <p><sup>1/5</sup> Roeßler, M. and Müller, V., (1998), <i>Appl. Environ. Microbiol.</i>, 64, S. 3813–3817.</p>	<p><sup>1/6</sup> Saum, S. H., Müller, V., et al., (2006), <i>J. Bacteriol.</i>, 188, S. 6808–6815.</p> <p><sup>1/7</sup> Saum, S. H. and Müller, V., (2007), <i>J. Bacteriol.</i>, 189, S. 6968–6975.</p>
---	--	---	--

## Der Autor



**Prof. Dr. Volker Müller**, 48, entdeckte bereits während seines Biologiestudiums an der Georg-August-Universität Göttingen seine Liebe zu anaeroben Prokaryonten. Er promovierte 1987 bei Prof. Gerhard Gottschalk mit einer Arbeit zur Bioenergetik der Methanogenese. 1989 ging er mit einem Stipendium der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für knapp zwei Jahre an die Yale University (Department of Molecular Biophysics and Biochemistry), wo er im Labor von Prof. Robert Macnab an der Biogenese des Flagellenmotors arbeitete. In Göttingen führte er seine Arbeiten zur Methanogenese fort und begann zusätzlich, die Bioenergetik der acetogenen Bakterien zu studieren. Nach seiner Habilitation für »Mikrobiologie« (1994) erhielt er 1995 ein Heisenberg-Stipendium der DFG, das ihn auch in das Labor von Prof. Tom

Stevens, Eugene, Oregon, USA, führte. 1997 folgte er einem Ruf auf eine Professur für Mikrobiologie an die Ludwig-Maximilians-Universität München. Dort begann er seine Arbeit zur Physiologie der halophilen Prokaryonten. Seit 2004 ist Volker Müller Professor für Mikrobiologie an der Universität Frankfurt. 2005 wurde er Direktor des neu gegründeten Instituts für Molekulare Biowissenschaften, 2007 Direktor des Centers für Membrane Proteomics und seit 2007 ist er Dekan des Fachbereichs Biowissenschaften. Seine Arbeiten werden über die Deutsche Forschungsgemeinschaft in Sonderforschungsbereichen und Schwerpunktprogrammen gefördert.

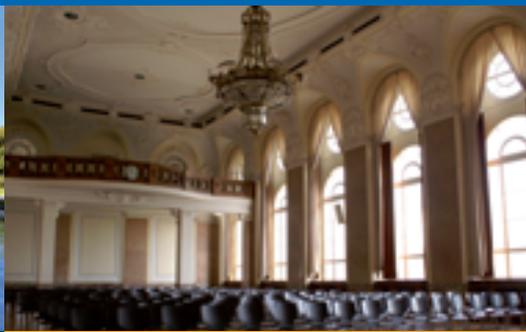
VMueller@bio.uni-frankfurt.de

# Raum...



Campus Westend

beeindruckend



Campus Bockenheimer

traditionell



Campus Riedberg

modern

## ... für Ihre Veranstaltung

**Sie suchen Veranstaltungsräume,  
die Ihnen etwas anderes als  
Hotels, Kongress-Center und  
Tagungszentren bieten?**

Dann sind Sie bei uns richtig! Die Johann Wolfgang Goethe-Universität bietet Ihnen für jede Art von Veranstaltung die passenden Räumlichkeiten.

An den drei Frankfurter Standorten Westend, Bockenheimer und Riedberg stehen Ihnen Konferenz- und Seminarräume, Festsäle, die Eisenhower-Rotunde, Hörsäle und die historische Aula mit moderner technischer Einrichtung zu Verfügung. Überzeugen Sie sich selbst von den vielen Möglichkeiten!

Fordern Sie gleich unser Informationsmaterial an oder besuchen Sie uns auf unserer Website unter [www.campuslocation-frankfurt.de](http://www.campuslocation-frankfurt.de). Wir freuen uns auf Ihre Anfrage und stehen für weitere Auskünfte gerne zur Verfügung!

Räume – so individuell wie Ihre Veranstaltung.