

Rolf Froböse

Wenn Frösche vom Himmel fallen

Die verrücktesten
Naturphänomene

ERLEBNIS
wissenschaft



Rolf Froböse

Wenn Frösche vom Himmel fallen

**Weitere interessante Titel
aus der Reihe
Erlebnis Wissenschaft**

Voss-de Haan, P.

Physik auf der Spur

Kriminaltechnik heute

2009

ISBN: 978-3-527-40944-0

Emsley, J.

Fritten, Fett und Faltencreme

Noch mehr Chemie im Alltag

2009

ISBN: 978-3-527-32620-4

Bell, H. P., Feuerstein, T., Güntner, C. E., Hölsken, S., Lohmann, J. K. (Hrsg.)

What's Cooking in Chemistry?

How Leading Chemists Succeed in the Kitchen

2009

ISBN: 978-3-527-32621-1

Koolman, J., Moeller, H., Röhm, K. H. (Hrsg.)

Kaffee, Käse, Karies ...

Biochemie im Alltag

2009

ISBN: 978-3-527-32622-8

Rolf Froböse

Wenn Frösche vom Himmel fallen

Die verrücktesten Naturphänomene



**WILEY-
VCH**

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Autor

Dr. Rolf Froböse

Ahornstraße 28
83512 Reitmehring

Alle Bücher von Wiley-VCH werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung.

**Bibliografische Information
der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

© 2009 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
KGaA, Weinheim

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Print ISBN : 978-3-527-32619-8

ePDF ISBN : 978-3-527-62854-4

ePub ISBN : 978-3-527-64151-2

mobi ISBN : 978-3-527-64152-9

oBook ISBN: 978-3-527-62853-7

Satz: Manuela Treindl, Laaber

Druck und Bindung: Ebner & Spiegel GmbH,
Ulm

Für Gabi und Jeremy



Rolf Froböse studierte Chemie, promovierte und war Ressortleiter beim Technologiema-gazin highTech sowie Chefredakteur der Zeitschriften Chemische Industrie und Europa Chemie. Seit 1995 berichtet er als freiberuf-licher Wissenschafts- und Wirtschaftsjourna-list in namhaften Medien über Themen aus Forschung und Technik. Längst hat er sich durch das Mitwirken an der Buchreihe Erlebnis Wissenschaft als erfolgreicher Sachbuchautor etabliert. Bei Wiley-VCH sind von ihm *Lust und Liebe – alles nur Chemie und Fußball, Fashion, Flachbildschirme – die zweite Kunststoffrevolu-tion*, die er zusammen mit Gabriele Froböse bzw. Klaus Jopp verfasste, erschienen.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort XIII

Exotische Mikroben – Außenseiter der Evolution 1

Manche mögen's heiß 3

Leben bei 130 °C – nur ein vorläufiger Rekord? 7

Ein siedender Feuerball verdaut Zucker gänzlich anders 8

Was haben Wärme liebende Bakterien in der Antarktis zu suchen? 9

Extremisten als Industriechemiker 9

Immer schön cool bleiben 13

Gefahr aus dem Kühlschrank? 13

Leben bei –180 °C? 14

Leben unter Druck 15

Von Kopf bis Fuß auf Ionen eingestellt 17

Leben im Atomreaktor 19

Ein Biotop in der Fleischkonserve 19

Atommüll auf dem Speiseplan 21

Raumfahrer und Datenspeicher 22

Sauer macht *Ferroplasma* lustig 23

Schleimig-ätzend wie ein Alien 23

Guten Appetit ... auf TNT und Dioxin 25

Altlasten aus zwei Weltkriegen belasten unsere Böden 27

Thauera aromatica liebt Toluol 28

Steinreich: Endolithe	31
Katzengold als Stammgericht	32
Eine Turboalge produziert Wasserstoff	35
<i>Thiomargarita namibiensis</i> , das Riesenbakterium	39
Von Kugelblitzen und Lochkristallen	41
Rätselhafte Kugelblitze	43
Realität oder Hirngespinnst?	44
Der Kugelblitz von Neuruppin	46
Kugelblitze in geschlossenen Räumen	49
Steckbrief: Kugelblitz gesucht	51
Wie gefährlich sind Kugelblitze?	52
Kugelblitze im Labor	54
Natürliche Raketen	57
Der Mensch hat die Rakete nur perfektioniert	59
Explodierende Früchte	60
Neue Sprengkraft für die Senfölbombe	63
Senföl als chemische Keule	63
Das große Zittern	65
Strom als Waffe und Kommunikationsmittel	67
Der erste Wärmesupraleiter	69
Zufall oder Industriespionage?	70
Kristalle aus Löchern	73
Wimmelt es im Universum von Lochkristallen?	74
Atmosphärenschauspiele und Wetterkapriolen	77
Polarlichter – das himmlische Theater	79
Auch in Deutschland sind Polarlichter keineswegs selten	81

Polarlichter auf anderen Planeten 82

Wenn nachts die Wolken leuchten 85

Die Wolken des Krakatau 86

Noch schrecklicher: Der Tambora 87

Tip, Katrina und andere Wirbelstürme 89

Keine Hurrikans am Äquator 89

Wirbelstürme versorgen sich selbst mit Energie 91

Eine Bilanz trauriger Rekorde 91

In jeder Hinsicht außergewöhnlich: Die Hurrikansaison 2005 95

Emanzipation: Wirbelstürme sind nicht nur weiblich 95

Das Alphabet war zu kurz 96

Wird es immer stürmischer? 99

Langsam, aber sicher: Die tropischen Meere werden wärmer 100

Tornados versetzen keine Berge, aber Häuser 105

Nicht nur ein amerikanisches Phänomen 106

Die Tornado Alley reicht von Texas bis Nebraska 109

Kühe wirbeln durch die Luft 110

Wenn im Hochsommer Eis vom Himmel fällt 113

Das größte Hagelkorn wog 1,9 Kilogramm 114

Das vergessene Unwetter des Jahres 1903 116

Saharastaub in der Karibik 119

Ein natürliches Sandstrahlgebläse setzt Aerosole frei 120

Mittelalterliche Legenden 122

Begegnung mit dem Teufel 125

Der Sturm dreht eine Pirouette 126

Wenn Frösche und Fische vom Himmel fallen 128

Teufel statt grüner Männchen: Windhosen auf dem Mars 129

Geologische und geographische Wunder 131

Oasen in der Antarktis 133

Erstaunliches vom Meeresgrund 135
Bericht aus einer exotischen Welt 136
Überkritisches Wasser am Meeresgrund 139
Lost City: Eine Methanoase 140
Scheinwerfer der Tiefsee 143
Licht durch Implosion 144
Ein Organismus von erstaunlicher Genügsamkeit 145
Außerirdisches Leben? 146

Tsunamis, die Monsterwellen 147
Auf dem offenen Meer sind Tsunamis harmlos 148
Wie entsteht ein Tsunami? 149
War die biblische Sintflut ein Tsunami? 151
Der Kaventsmann: Nur Seemannsgarn? 155
Radarsatelliten spüren Monsterwellen auf 157

Total versalzen: Extreme Gewässer 159
Kara Bogas – eine gigantische Salzsiedepfanne 160
Noch nicht das Ende der Fahnenstange 161
Weltrekord in der Antarktis 162

Nanotechnik und Hochleistungswerkstoffe 163

Nanodiamanten als verborgene Schätze im Erdöl 165

Der Lotuseffekt – eine Laune der Natur? 169
Eine Blüte im Fokus der Forschung 170
Auf der Lotusblüte bleibt nicht einmal Honig kleben 171
Der Lotuseffekt hat seinen Sinn 172
Technische Anwendungen des Lotuseffekts 173

Wie Geckos senkrecht über Glasscheiben laufen 177
Gecko-Modelle 179

Der Fußball, der aus dem Kosmos kam 181

Glasfasern: Die Natur erfand sie vor vielen Millionen Jahren 185

Bakterien als Kunststofffabrik	189
Schwer auf Draht: Bakterien produzieren elektrische Leitungen	193
Vom Spinnenfaden zur schusssicheren Weste	195
Rätselhafte Energiequellen	199
Ein Solarkraftwerk in der Antarktis	201
Der erste Kernreaktor	203
Natürliche Laserquellen	207
Weitere Seltsamkeiten der Natur	209
Kein alter Adel, aber blaues Blut	211
Ein Riesenmolekül mit »Managerqualitäten«	214
Ein guter Riecher: Die Hundenase	217
Hunde können »stereo« riechen	218
Wandelndes Chemielabor: Der Bombardierkäfer	219
Tintenfische als »Anti-Terror-Elite«	221
Gegenmittel vom Fischmarkt	222
Schneller, höher, dicker	223
Schnell nachwachsender Rohstoff: Bambus	225
Lernen wir träumen: Ein kurzes Nachwort	227
Literatur	229
Personen- und Sachregister	235

Vorwort

So unglaublich es klingt: Die Natur ist immer noch unschlagbar. Sie beschert uns die erstaunlichsten »Erfindungen« und Phänomene, die oftmals die menschliche Vorstellungskraft sprengen. Bakterien, die Plastik produzieren oder Strom erzeugen, gehören ebenso dazu wie natürliche Raketenantriebe oder Algen, die als Lieferanten von Wasserstoff den Energiehunger künftiger Generationen stillen könnten. Frösche und Fische fallen vom Himmel, Staub der Sahara weht bis in die Karibik ... und was hat es mit den rätselhaften Methanoasen der Tiefsee auf sich?

Auch moderne Technologien hat die Natur vorweggenommen. So verleiht ein natürliches Solarkraftwerk einem antarktischen See eine angenehme Badewassertemperatur, und den ersten funktionierenden Kernreaktor gab es – man höre und staune – in Afrika vor zwei Milliarden Jahren. Sogar den ersten Laser hat die Natur selbst geschaffen!

Forscher rund um den Globus suchen verstärkt nach Möglichkeiten, um die Erfindungen der Natur zur Herstellung neuer Produkte und Konzepte zu nutzen. Interessante Vorbilder sind die Extremisten unter den Bakterien, die sich bei einer backofentauglichen Temperatur von 130 °C äußerst wohl fühlen oder gar ein Leben bei pH-Werten um null vorziehen, während andere wiederum sich ausgerechnet das Innere von Kernreaktoren mit ihrer vermeintlich tödlichen Strahlung als ökologische Nische ausgesucht haben. Dass der Speiseplan dieser Extremisten nicht minder exotisch anmutet, beweist eine Gattung, die sich mit Vorliebe den Sprengstoff TNT schmecken lässt.

Eines ist klar: Die aus solchen Organismen gewonnenen Enzyme dürfen die Chemie nachhaltig befruchten. Einige Forschergruppen sind schon dabei, die ungeheuren Innovationspotenziale der Natur abzuschöpfen. Auch Chemosensoren, die wie Hundenasen funktionieren, oder kugelsichere Westen auf der Basis von Spinnenfäden sind Visionen, die von der Schatzkiste der Evolution profitieren dürften.

Wussten Sie, dass ein See existiert, dessen Salzgehalt noch deutlich höher als der des Toten Meeres ist? Hätten Sie gedacht, dass es im Erdöl mikroskopisch kleine Diamanten gibt und Geckos mit Nanotechnologie auf Wänden und Decken herumlaufen? Würden Sie Tintenfische für eine Art »Anti-Terror-Elite« halten? Nein? Dann werfen Sie jetzt alle Vorurteile über Bord und begleiten Sie den Autor auf eine phantastische Entdeckungsreise durch eine Natur, die voller verblüffender Überraschungen steckt.

Meiner Familie danke ich für die große Geduld und moralische Unterstützung bei der Anfertigung des Werkes. Mein ausdrücklicher Dank gilt auch Frau Dr. Gudrun Walter und Frau Dr.-Ing. Waltraud Wüst sowie allen weiteren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Wiley-VCH Verlags für die ausgezeichnete Zusammenarbeit.

Dr. Rolf Froböse, im Frühjahr 2007

Exotische Mikroben – Außenseiter der Evolution

Faszinierende Unterwasserwelten, tropische Regenwälder, Leben in der Wüste, im Hochgebirge oder am Polarkreis, vom Adler bis zum Zebrafisch: Die Natur hat im Laufe der Evolution eine Vielfalt an Lebensformen hervorgebracht, die unzählige Bildbände füllt. Es wird kaum jemanden geben, den der Reichtum der Natur nicht bezaubert.

Lassen wir Zahlen sprechen: Derzeit leben auf der Erde etwa drei Millionen unterschiedliche Arten von Organismen. Schätzungen von Paläontologen zufolge dürften im Laufe der verschiedenen erdgeschichtlichen Epochen jedoch nicht weniger als fünfhundert Millionen Arten existiert haben, von denen die meisten wieder ausgestorben sind.

Was besonders erstaunlich ist: Die Natur hat auch Lebensformen geschaffen, die sich unter lebensfeindlichen Bedingungen anscheinend pudelwohl fühlen. So verbirgt sich jenseits des Makroskopischen, auf einer Ebene, die dem menschlichen Auge gänzlich verborgen bleibt, eine Terra Incognita – unerschlossenes Land, von dem die Wissenschaftler bislang bestenfalls Randgebiete erforscht und maximal ein Prozent der Bewohner kennen gelernt haben. Die Einheimischen dieser unzugänglichen Welt sind Mikroben: Bakterien, Viren, Einzeller und Pilze oder Pilzbakterien. Sie beleben ihr winziges Universum in großer Vielfalt. Praktisch überall dort, wo Leben eine Nische gefunden hat, sind sie heimisch geworden. In nur einem Gramm Ackerboden tummeln sich nach Angaben des Wissenschaftsautors Dr. Harald Zaun (siehe Literatur im Anhang) ca. 100 000 Kleinstlebewesen.

»Die Gesamtmasse mikrobiellen Lebens auf unserem Planeten ist nahezu unkalkulierbar groß – man hat sie auf das 5-bis 25fache der Masse allen tierischen Lebens geschätzt«, spezifizierte der bekannte englische Mikrobiologie John Postgate (University of Sussex) die quantitative Dimension der Mikroben. Charakteristisch für derlei Lebensformen sind zwei Besonderheiten: die Vermehrung in atemberaubendem Tempo und die außerordentliche Überlebenskraft selbst bei extremsten Umweltbedin-

gungen. Je nach Gattung leben und vermehren sich diese extremophilen Mikroorganismen bei unglaublich hohen oder tiefen Temperaturen, sehr niedrigen pH-Werten oder harschen Salzkonzentrationen. Extremophile sind Archaeobakterien, also ganz »alte« Bakterien, Relikte aus der Frühzeit der Evolution.

Dementsprechend unterscheiden sie sich grundlegend von den »modernerer« Lebensformen. Anders als die Zellen höherer Organismen besitzen sie keinen Zellkern, sondern die DNA »schwimmt« nahezu frei in der Zelle herum. Aufgrund zahlreicher genetischer Besonderheiten werden sie einem eigenen Organismenreich zugerechnet. Mit etwas über 200 Arten weltweit sind sie meist – aber nicht ausschließlich – in extremen Lebensräumen anzutreffen. Unter normalen Bedingungen findet man Archaeobakterien unter anderem im Boden oder im Meer. Die meisten Geowissenschaftler vermuten, dass Archaeobakterien Merkmale des frühen Lebens auf der Erde enthalten, als die Lebensbedingungen auf unserem Planeten für höher entwickelte Organismen noch vollkommen unwirtlich waren.

Zum Einstieg nenne ich Ihnen einige Beispiele aus der »Extremisten-szene«:

- *Aquaspirillum arcticum*, ein Bakterium, das dank kälteresistenter Proteine in den Schnee- und Eisregionen des kanadischen Nordwestens eine ökologische Nische gefunden hat,
- *Candida antarctica*, eine alkalophile Hefe aus dem antarktischen Vanda-see,
- *Desulfurella acetivorans*, ein anaerobes Bakterium, das sich in dem Vulkan Uzan auf der sibirischen Halbinsel Kamtschatka angesiedelt hat,
- *Deinococcus radiodurans*, ein gegenüber radioaktiver Strahlung widerstandsfähiges Bakterium, das im Innern eines Kernreaktors überlebt,
- *Shewanella benthica*, ein unter hohem Druck lebendes Bakterium, das im Puerto-Rico-Graben entdeckt wurde und
- *Halobacterium halobium*, ein stark salzliebender Organismus, der im kalifornischen Owens Dry Lake vorkommt.

Im Folgenden wollen wir diese phänomenalen Geschöpfe etwas näher unter die Lupe nehmen. In zusätzlichen Informationskästen gibt es Hintergrundinformationen zum vorausgegangenem Thema oder Berichte über aktuelle Forschungsergebnisse. Sie sind für Leserinnen und Leser gedacht, die tiefer in die Materie einsteigen möchten.

Jetzt aber genug der Vorrede. Die Reise beginnt!

Manche mögen's heiß

Bis Mitte der 1960er Jahre war die Welt noch in Ordnung: Dass Leben nur unter »physiologischen Bedingungen« gedeihen kann, war für Biologen ein Dogma. So galt eine Temperatur von +60 °C als Schallmauer für die Existenz von Leben, da Eiweiße oberhalb dieser Schranke gerinnen und ihren Dienst versagen – ein Effekt, den jeder kennt, der schon einmal ein Spiegelei gebraten hat.

Der amerikanische Biologe Dr. Thomas Brock von der University of Indiana war einer der »undogmatischen« Forscher, die die Kollegen eines Besseren belehrten. Brock war 1965 auf die heißen Quellen im Yellowstone-Nationalpark in den Rocky Mountains aufmerksam geworden. Bei einem Besuch entdeckte er zu seinem Erstaunen in den Ablaufrinnen der Geysire und heißen Quellen ein reichhaltiges mikrobielles Leben. Daraufhin kehrte er kurze Zeit später mit der nötigen technischen und wissenschaftlichen Ausrüstung zurück, um das Leben in diesem nahezu kochenden, bis dato als steril geltenden Milieu zu untersuchen.

Das Ergebnis war eine echte Sensation: Brock stellte fest, dass es Lebensformen gibt, die siedendes Wasser nicht nur tolerieren, sondern die sich dieses Milieu offenbar als ökologische Nische ausgewählt haben, in der sie wachsen und sich vermehren. Nachfolgende Untersuchungen zeigten, dass Leben sogar deutlich oberhalb von 100 °C gedeihen kann.

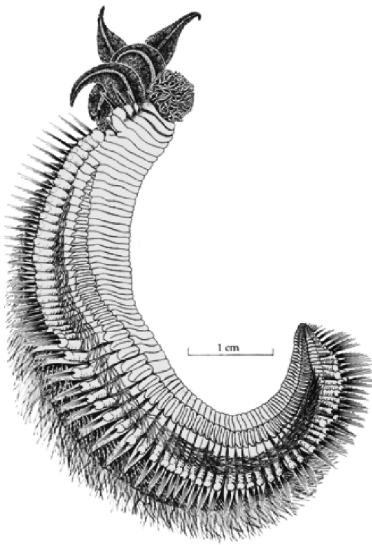
Ein weiterer Pionier der Erforschung hitzeresistenter Bakterien ist der Regensburger Professor Karl Otto Stetter. Im Gegensatz zu Brock machte sich Stetter nicht nur in touristisch gut erschlossenen Gegenden wie dem Yellowstone-Nationalpark auf die Suche nach den Exoten des Lebens, sondern er fahndete auch in schwer zugänglichen Gebieten wie vulkanischen Arealen in den Anden – mit Erfolg. Das Leben bei extrem hohen Temperaturen schien allgegenwärtig zu sein. In seinem Labor in Regensburg simulierte Stetter in 100-Liter-Heißwassertanks diese Umgebung und wurde damit zum weltweit ersten Züchter von Extremophilen.



Der Geysir »Old Faithful« im Yellowstone-Nationalpark, USA.
© Corbis Digital Stock.

In seiner langjährigen Karriere machte Stetter schon mit vielen bizarren Geschöpfen aus dem Mikrokosmos Bekanntschaft, etwa mit *Pyrobulus fumarii*, das er mit einem U-Boot vom Grund des Atlantiks aus über 3500 Metern Tiefe zutage förderte. Dieses Bakterium, das Stetter am Rande einer hydrothermalen Erdspalte auf dem Meeresboden entdeckte, gedeiht mit Vorliebe bei Temperaturen zwischen 90 und 113 °C. Die Hitzetoleranz höherer Organismen ist normalerweise um einiges geringer. Doch auch hier bestätigen Ausnahmen die Regel: Der rund 15 cm lange Pompejiwurm, der ebenfalls an den heißen Tiefsee-Schlotten haust, erträgt kurzzeitig 105 °C. Im Überlebenskampf ist *Alvinella pompejana*, so der wissenschaftlich korrekte Name, wahrscheinlich auf Bakterien angewiesen, die ihm hitzeresistente Enzyme liefern.

Stetter und sein Team entdeckten auch im untermeerischen Vulkangebiet nördlich von Island (Kolbeinsey-Rücken) erstmals Vertreter eines bisher völlig unbekanntes Reiches von Archaeobakterien. Dabei handelte es sich um die kleinste bisher bekannte lebende Zelle: eine winzige Kugel mit einem Durchmesser von lediglich 400 nm (nm = Nanometer, d. h.



Alvinella pompejana. Aus: Gage, J. D. and Tyler, P. A. 1990.
Deep-sea Biology. Cambridge University Press, Cambridge, p. 504
Mit freundlicher Genehmigung des Verlages.

ein milliardstel Meter). »Diese sind damit im Volumen über 100-mal kleiner als etwa eine *Escherichia-coli*-Bakterienzelle und liegen bereits im Größenbereich von großen Viren wie beispielsweise dem Pockenvirus«, zieht Harald Zaun einen Vergleich. Ungefähr 500 000 Vertreter dieser Archaeenart, die auf den Namen *Nanoarchaeum equitans* (»reitender Urzweig«) getauft wurde, fänden auf dem Punkt am Ende dieses Satzes bequem Platz.

Der kugelige Zwerg, der nicht alleine wächst, sondern auf der Oberfläche einer zweiten Mikrobe namens *Ignicoccus* (»Feuerkugel«) »reitet«, gehört eindeutig zur Gruppe der Archaeobakterien. Diese wachsen heute noch in Umgebungen, wie es sie vor mehreren Milliarden Jahren allerorten auf dem Planeten gab: in vulkanisch aktiven Zonen, kochenden Geysiren, heißen Schwefelquellen, konzentrierten Salzlösungen oder ätzenden Säurepfützen. Mit anderen Worten: Theoretisch könnten solche Überlebenskünstler oder deren nächste (oder entfernteste) Verwandte auch auf anderen Himmelskörpern, zum Beispiel im flüssigen Wassermantel des Jupitermondes Europa, gedeihen.

Viele Jahre lang galt *Pyrobulus fumarii* als ungeschlagener Rekordhalter. Doch Kazem Kashefi und Derek Lovley von der University of Massachusetts

Gibt es Leben in Europa?

Die Frage ist völlig ernst gemeint: Sie bezieht sich nicht auf den Kontinent Europa, sondern auf den gleichnamigen Jupitermond. Europa ist der zweite der so genannten Galileischen Monde des Jupiter und nicht minder spektakulär als der Mond Io, dessen Oberfläche von Schwefel speienden Vulkanen übersät ist. Der Trabant umkreist den Jupiter in ungefähr 1,6facher Io-Entfernung. Demzufolge sind die Gezeitenkräfte, die an seiner Oberfläche zerrn, zwar weniger ausgeprägt als bei Io, aber immer noch stark genug, um große Wärmemengen freizusetzen. »Das auffälligste Merkmal Europas ist seine Oberfläche. Sie ist ungewöhnlich eben und nahezu frei von Einschlagkratern – ein Hinweis, dass es sich hierbei um eine relativ junge Formation handeln muss«, erläutert der Astrophysiker Professor Harald Lesch vom Institut für Astronomie und Astrophysik der Universität München.

Bei genauerer Betrachtung erkennt man ein kompliziertes Geflecht aus Bruchlinien, Streifen, Gräben und Flecken. Mittlerweile sind die Wissenschaftler davon überzeugt, dass sich unter der kilometerdicken Eisdecke der etwa -130°C kalten Oberfläche ein riesiger Ozean aus flüssigem Wasser befindet, der durch die innere Reibungswärme am Gefrieren gehindert wird. Auf dem Grund des Ozeans werden Geysire vermutet, die ähnlich wie die Schwarzen Raucher der Tiefsee in ihrer Umgebung eine ökologische Nische für Leben geschaffen haben könnten. Dieses nachzuweisen, ist aber außerordentlich schwierig. So müsste eine Sonde weich auf der Ober-

fläche des Mondes landen und mithilfe eines Penetrationsroboters ein kleines U-Boot durch die Eisdecke schicken, deren Dicke auf 20–200 km geschätzt wird. Möglicherweise gibt es aber Stellen, an denen die Eisdecke wesentlich dünner ist. Ein Ansatzpunkt könnten die zahllosen Bruchrillen sein, wo in jüngerer Zeit Flüssigkeit aus dem Inneren an die Oberfläche gedrungen ist. Spektroskopisch ist es bereits gelungen, dort Salze wie Magnesiumsulfat nachzuweisen. Rätselhaft ist aber die bräunlichrote Verfärbung der Oberflächen in der Nähe dieser Bruchrillen. Außerdem absorbiert das Eis auf Europa Infrarotstrahlung anders als gewöhnliches Eis. Die Forscher haben versucht, diese Absorption durch dem Eis beigemischte Sulfate zu erklären. Es gelang ihnen aber nicht, eine Mischung zu finden, die das Spektrum Europas exakt wiedergibt.

Für Brad Dalton vom U.S. Geological Survey in Denver sind tiefgefrorene Bakterien für die eigenartige Färbung der Oberfläche des Jupitermondes Europa verantwortlich. Damit ließe sich, so der Planetenforscher, auch das mysteriöse Infrarot-Spektrum des Mondes erklären. Brad Dalton stieß zufällig darauf, dass bestimmte Bakterien Absorptionen in dem gewünschten Wellenlängenbereich erzeugen, darunter Extremophile. Die Bakterien zeigen außerdem eine rotbraune Farbe. Auf der Oberfläche von Europa dürften zwar selbst die extremophilen Bakterien nicht überleben. Sie könnten aber durch Risse im Eis hochgespült und dann tiefgefroren worden sein, argumentiert Dalton.*

* Erstaunlich ist übrigens, dass Arthur C. Clarke in seinem Science-Fiction-Roman »2010: Odyssey Two« lange bevor Einzelheiten über den Jupitermond Europa bekannt waren, diesen als zweite Erde im tiefgefrorenen Zustand mit einem latenten Leben unter der Eisoberfläche beschrieben hat. In Clarks Roman wird auf Jupiter ein

Fusionsprozess in Gang gebracht, worauf sich der Gasplanet in eine kleine Sonne verwandelt. In der Folge taut Europa aus dem Dornröschenschlaf auf und auf seiner Oberfläche kann sich Leben entwickeln. Im Jahre 1984 wurde der Roman unter dem Titel »2010 – das Jahr, in dem wir Kontakt aufnehmen« verfilmt.

in Amherst (USA) entdeckten im Jahre 2003 auf dem Grunde des Pazifiks im Juan de Fuca Ridge – westlich von Vancouver Island gelegen – ein anderes Bakterium, das diesen Rekord in den Schatten stellt. In dieser Region liegen mehrere Hydrothermalquellen, bei denen heißes, schwefel- und methanreiches Wasser aus dem Meeresboden austritt. Wegen des hier herrschenden hohen Drucks kann das Wasser Temperaturen bis zum kritischen Wert von 374 °C erreichen, ohne zu sieden.

Leben bei 130 °C – nur ein vorläufiger Rekord?

Den bisher unbekanntem Archaea-Stamm kochten die Forscher bei 121 °C. Diese Temperatur setzen Mikrobiologen üblicherweise in ihren Autoklaven zur Sterilisation ein; in der Regel genügt eine 15-minütige Behandlung, um Arbeitsgeräte völlig keimfrei zu bekommen. Doch der neue Stamm überlebte nicht nur die extreme Hitze, er teilte sich auch noch munter weiter. Von seinem Konkurrenten *Pyrobulus fumarii* blieb dagegen nach der harschen Prozedur nur ein Prozent der Zellen übrig.

Selbst Temperaturen von 130 °C scheinen »Stamm 121« – so der vorläufige Name der neuen Art – nicht viel auszumachen. Nach zwei Stunden Hitze und anschließender Rückführung auf kühlere 103 °C wuchs der Keim immer noch. Temperaturen unterhalb von 85 °C empfand Stamm 121 hingegen als deutlich zu frisch: Er stellte sein Wachstum ein. Wie viele andere Archaea auch gehört die neue Art zu den Anaerobiern, die ohne Sauerstoff auskommen. In ihrer aktuellen Veröffentlichung berichten Kashefi und Lovley, dass Stamm 121 seine Energie aus dem chemischen Vorgang der Reduktion von Eisen bezieht. Auf diese Weise könnten auch die frühesten Lebensformen existiert haben, sagen die Biologen.

Schon lange spekulieren Wissenschaftler, dass Archaea – insbesondere die im Umfeld heißer Quellen vorkommenden Crenarchaeota – die ersten Bewohner der Erde gewesen sein können. In den damaligen sauerstofffreien Bedingungen könnten bei hohen Temperaturen Organismen existiert haben, aus denen sich im Laufe der Evolution alle anderen Lebensformen nach und nach entwickelten. »Zu diesen Gründergenerationen könnten demnach auch Extremisten wie der Stamm 121 gehört haben«, überlegt unter anderem Andreas Jahns (siehe Literatur im Anhang).

Stamm 121 wurde unter anaeroben Bedingungen unmittelbar aus einer dieser Tiefseequellen entnommen und in einer Stickstoff-Kohlendioxid-Atmosphäre (80 : 20) lebensfähig gehalten. Bei Zugabe von Formiaten als

Elektronenspender und Eisen(III)-oxid als Elektronenakzeptor beobachteten die Forscher einen recht lebhaften Stoffwechsel und die Reduktion des Eisen(III)-oxids zu Eisen(II)-oxid (Magnetit). Mithilfe eines Fluoreszenzverfahrens konnte die Zellvermehrung mit hoher Genauigkeit verfolgt werden. Das Gleiche gilt für die Eisenreduktion, deren Ausmaß mit einem Indikator (Ferrozin) exakt bestimmt werden konnte.

Unter den Thermophilen ist Stamm 121 bisher der einzige Stamm, der im Autoklaven Temperaturen von 130 °C verträgt. Wenn ihm nach solchen sterilisierenden Bedingungen bei 103 °C frisches Kulturmedium angeboten wird, vermehrt er sich, als wäre nichts geschehen. Sinkt die Temperatur unter 85 °C, fällt Stamm 121 in eine Art Winterschlaf. Zwar überlebt er die »Kälte«, seine Fähigkeit zur Teilung büßt er aber ein.

Erste genetische Untersuchungen von Stamm 121 deuten auf eine Verwandtschaft zu bereits bekannten Archaeobakterien hin. Bislang ist allerdings noch ungeklärt, welche biochemischen und eventuell weiteren Faktoren Stamm 121 das Aushalten derart hoher Temperaturen ermöglichen. Die Forscher vermuten, dass die Temperaturresistenz von einigen Schlüsselmolekülen abhängt. Nach diesen wird jetzt gezielt gefahndet. Da Stamm 121 ausschließlich nach seiner Fähigkeit zur Elektronenaufnahme über Eisen(III) selektiert wurde, hoffen die Forscher weitere Stämme mit anderen Elektronenakzeptor-Systemen isolieren zu können. Diese könnten sogar bei noch höheren Temperaturen überlebensfähig sein. Das nächste Beispiel zeigt, wie vielfältig der Stoffwechsel der hitzebeständigen Organismen ist.

Ein siedender Feuerball verdaut Zucker gänzlich anders

Mikrobiologen aus Wageningen um Dr. Corné Verhees haben in einem Projekt der niederländischen Organisation für wissenschaftliche Forschung (NWO) die eigenartige Verdauung eines exotischen Mikroorganismus bloßgelegt. Es zeigt sich, dass *Pyrococcus furiosus*, der »siedende Feuerball«, einige Schritte der Zuckerverdauung erneut erfunden hat. *Pyrococcus*, vor fünfzehn Jahren am Strand von Vulcano, einer kleinen italienischen Vulkaninsel, entdeckt, verdaut Zucker anders als Menschen, Tiere, Pflanzen und Bakterien: Alle setzen Glucose über eine Glycolyse in Pyruvat (Brenztraubensäure) um, *Pyrococcus* nicht. Bei Stammbaumuntersuchungen zeigt sich, dass sich die Enzyme des »Feuerballs« unabhängig von denen anderer Mikroorganismen entwickelt haben.

Inzwischen versuchen die Wageninger Wissenschaftler über Gentechnologie einige dieser Enzyme für industrielle Anwendungen geeignet zu machen. Der Organismus fühlt sich am wohlsten in einer salzigen Umgebung und bei einer Temperatur von 100 °C. Die Industrie findet *Pyrococcus* interessant, weil seine Enzyme bei den hohen Temperaturen nicht zerstört werden.

Was haben Wärme liebende Bakterien in der Antarktis zu suchen?

Überraschend ist, dass thermophile Organismen bisweilen auch in Umgebungen auftauchen, wo sie nicht vermutet werden, etwa in der Antarktis. Unter der dicken Eisdecke mancher Gletscher verbergen sich subglaziale Seen, die unter Umständen bisher unbekannte Lebensformen beheimaten könnten. Ein solcher See mit der gigantischen Fläche von 14 000 km² – beinahe so groß wie der Ontario-See – befindet sich in der Antarktis unter der Bohrstation Wostok.

Die Forscher haben bereits Überraschendes entdeckt, obwohl sie bislang noch keine flüssigen Wasserproben entnehmen konnten, denn die Bohrungen wurden noch nicht bis in die äußerste Tiefe des Eises vorgetrieben, damit der außergewöhnliche See vor externer Verschmutzung geschützt bleibt. Im Herbst 2004 untersuchte ein internationales Forscherteam aus Russland, Frankreich und den USA die letzten 85 m eines Eisbohrkerns (bestehend aus wieder eingefrorenem Wasser aus dem See), der 130 m über der Oberfläche des Sees entnommen worden war. Die Analyse ergab, dass der Wostok-See biologisch nahezu tot ist. Sein Wasser wurde durch einen Überschuss an gelöstem Sauerstoff, der sich infolge der Eisschmelze anreicherte und dessen Druck etwa dem in einer Sodawasser-Dose entspricht, gewissermaßen sterilisiert.

In den tieferen Eisschichten wurden DNA-Spuren entdeckt, deren genetische Signatur auf thermophile Bakterien hinweist – ähnlich denen, die in der Nähe von heißen unterirdischen Quellen und nahe Vulkanschloten leben. Ein weiteres Rätsel, das auf seine Lösung wartet ...

Extremisten als Industriechemiker

Chemiker der Degussa AG wollen die aus extremophilen Organismen gewonnenen Enzyme wirtschaftlich nutzen. Dahinter verbirgt sich das