

Skander Elleuche

Extreme Lebensräume

Wie Mikroben
unseren Planeten erobern



 Springer

Extreme Lebensräume: Wie Mikroben unseren Planeten erobern

Skander Elleuche

**Extreme
Lebensräume:
Wie Mikroben
unseren Planeten
erobern**



Springer

Skander Elleuche
Hamburg, Deutschland

ISBN 978-3-662-56014-3 ISBN 978-3-662-56015-0 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-56015-0>

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

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Illustrationen: Claudia Styrsky, München
Verantwortlich im Verlag: Stefanie Wolf
Einbandabbildung: Skander Elleuche

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Für meine Ehefrau

Vorwort

„Bazillen, überall sind Bazillen!“

Diesen oder einen vergleichbaren Satz hat wahrscheinlich schon jeder einmal gehört oder gelesen. Vielleicht in der Schule, während des Studiums oder in der Zeitung. Beginnen wir direkt mit einer kurzen Erläuterung: Alle Bazillen sind zwar Mikroben, aber nur verhältnismäßig wenige Mikroben gehören tatsächlich zur Gattung *Bacillus*. Ein Ausruf wie die Überschrift soll andeuten, dass Mikroben auf unserem Planeten allgegenwärtig sind. Sie sind nur so klein, dass sie für unser Auge unsichtbar bleiben. Sie bevölkern eine unsichtbare Welt in unserer Welt. Wir finden sie überall: in der Luft, im Wasser, im Boden, sogar in uns selbst. Jeder von uns hat mehr Mikrobenzellen im Körper als eigene Körperzellen. Unsere Körpertemperatur schafft mit 37 °C auch eine angenehme Atmosphäre. Warum sollten sich unsere Mitbewohner also nicht

besonders wohlfühlen? Nebenbei bemerkt fühlen auch wir uns mit einigen von ihnen ganz wohl und sind sogar auf das Zusammenleben angewiesen.

Wenn wir genau nachschauen, dann finden wir Mikroben sogar an Orten, wo wir sie niemals vermuten würden. Sie leben in den giftigsten Abwässern, in radioaktiv verseuchten Gegenden, im salzigen Wasser des gar nicht so toten Toten Meeres und unter kilometerdickem Gletschereis. Selbst von der Internationalen Raumstation ISS wurde eine Mikrobe isoliert, die bisher nicht auf der Erde gefunden wurde. Sie ist zwar vermutlich kein Außerirdischer, aber sie toleriert sehr hohe Dosen an Strahlung und kann deshalb im Weltraum überleben. Und auch der erste lebende Einzeller auf unserem Planeten hat sich wahrscheinlich vor fast vier Milliarden Jahren im brodelnden Urmeer ohne Sauerstoff besonders wohlfühlt.

In diesem Buch werden wir gemeinsam eine Reise zu so manchem extremen Mikroorganismus unternehmen, den es auf unserem Planeten gibt. Wir werden uns anschauen, was die talentiertesten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler¹ unternehmen mussten, um diesen winzigen Überlebenskünstlern auf die Spur zu kommen, und wie es den Mikroben gelang, sich an ihre spezifischen Habitate anzupassen oder auf sich verändernde Umweltbedingungen zu reagieren. Durch den globalen Eingriff des Menschen in die Natur werden nicht nur die Lebensräume von Tieren und Pflanzen beeinträchtigt oder gar vollständig zerstört. Auch Mikroorganismen

¹Im Folgenden werde ich den Begriff Wissenschaftler stellvertretend für alle schlaun Köpfe verwenden und auch auf jede weitere geschlechtliche Doppelung verzichten.

verlieren durch die Rodung des Regenwaldes, die Urbanisierung ländlicher Gegenden, durch den Einsatz von Atomwaffen oder den Klimawandel ihren Lebensraum.

Auf unserer Reise werden wir Einzeller kennenlernen, die so gut angepasst sind, dass sie fast alles können. Sie zerfressen das Wrack der Titanic oder ernähren sich vom ausgetretenen Öl nach Ölkatastrophen. Manche von ihnen konsumieren Plastikverbindungen und könnten beim Abbau von Plastikverschmutzungen von großem Nutzen sein. Auch der Mensch hat sich die besonderen Fähigkeiten dieser Mikroben zunutze gemacht. Der Siegeszug der sogenannten Polymerasekettenreaktion, vielleicht der wichtigsten molekularbiologischen Methode überhaupt, wäre ohne die Entdeckung von Bakterien, die im brodelnden Wasser von heißen Quellen leben, nicht möglich gewesen. Unsere Wäsche wird durch den Einsatz von Enzymen aus kälteliebenden Mikroben bereits bei niedrigen Temperaturen sauber. Und auch die israelische Nobelpreisträgerin Ada Yonath machte einige ihrer bahnbrechenden Entdeckungen mithilfe einer salzliebenden Mikrobe aus dem Toten Meer.

Dennoch haben die meisten Menschen noch nichts von den Mikroben, die das Extreme lieben, den sogenannten Extremophilen, gehört. Für die Neulinge auf dem Gebiet möchte dieses Buch einen Überblick geben, während die kundigen (Mikro-)Biologen hoffentlich ebenfalls noch die ein oder andere interessante Neuigkeit oder Anekdote entdecken werden.

Hamburg
September 2017

Skander Elleuche

Inhaltsverzeichnis

1	Tiere suchen ein Zuhause	1
	Von den kältesten Polarmeeren bis zur heißesten Wüste	2
	Bizarre Ungeheuer der Tiefsee	10
	Ein tapsiger und widerstandsfähiger Sonderling	11
	Wer ist der Methusalem unter den Lebewesen?	16
	Die unsichtbaren Bewohner der extremsten Lebensräume	21
2	Klein und extrem – Extremophile Mikroorganismen	29
	Die menschliche Komfortzone	30
	Die Kleinsten sind die Extremsten	34
	Wo sind ökologischen Nischen, die eigentlich keine Besiedelung möglich machen sollten?	36
	Erst ab 45 °C wird es richtig angenehm	39
		XI

„Brr, bei euch ist es ja richtig kalt“	41
Unter extremem Druck stehende Bakterien	44
Vom Leben in der Säure und in der Lauge	45
Versalzen? Nicht für Halophile!	47
Vergiftete, verstrahlte und hungernde Extremophile	48
In und unter Gesteinen lebende Extremophile	50
Die (Fast-)Alleskönner unter den Extremophilen	52
Welche Extremophilen suchen wir bisher vergeblich?	54
3 Pioniere der Extremophilenforschung	57
Tauchgänge zu den druckliebenden Bakterien	59
Die Entdeckung der Alkaliphilen	64
Spektakuläre Entdeckungen im Yellowstone Nationalpark	69
Die Jagd nach den Hyperthermophilen	72
4 Temperaturen unter Null sind doch nicht so kalt	79
Zur ersten Orientierung	80
Typische Vertreter von kälteliebenden Mikroben	83
Nördlich von uns	87
Antarktische Oasen	91
Leben unter dem Eis	96
Mehrere Hundert Seen unter den Gletschern der Antarktis	101
Welche genetische und physiologische Ausstattung erleichtert das Leben im Eis?	104

5	Unter Druck gesetzt	109
	Ein gigantischer Lebensraum im Dunkeln	110
	Der tiefste Punkt der Ozeane	113
	Im Tiefseesediment	118
	Die genetische Ausstattung von Tiefseebakterien	124
6	Hitzeliebende Mikroben in Wüsten, Schlammöpfen und kochendem Wasser	127
	Trockene und heiße Lebensräume	128
	Rauchende Schornsteine auf dem Grund der Tiefsee und heiße Quellen	131
	Die Azoren – Ein Dorado für den passionierten Extremophilenjäger	138
	Island – Ein vom Vulkanismus geprägtes Paradies für Thermophile	142
	Heiß, Heißer, Hyperthermophile	146
	Genetische Ausstattung von hitzeliebenden Mikroben	150
7	Überleben in gesättigten Salzlösungen	153
	Salzige Lebensräume	154
	Das Tote Meer und andere salzige Lebensräume	162
	Im Salzwerk sind sie zu Hause	165
	Die osmotische Balance aufrechterhalten	167
	Artgerechte Pflege von Halophilen	172
8	Überleben in Säure und Lauge	175
	Sauer bis basisch	176
	Leben in Lauge	178

XIV Inhaltsverzeichnis

	Im Natronsee ist es ungemütlich	180
	Leben in Säure	185
	Wie schützen sich säureliebende Mikroben vor ihrer sauren Umgebung?	190
9	Katastrophale Lebensräume	195
	Durch Öl angetriebene Mikroben	197
	Biologische Sanierung durch Mikroorganismen	203
	Im Schlaraffenland der Radiotoleranten	209
10	Industrielle Biokatalyse mit Extremozymen	215
	Was sind Biokatalysatoren?	216
	Extremozyme sind die Enzyme der Extremophilen	219
	Der ewige Klassiker – Polymerasekettenreaktion	226
	Kalt waschen, um Energie zu sparen	228
	Zuckersüße Thermozyyme in der Lebensmittelindustrie	230
	Kann ich mit Stroh mein Auto tanken?	235
11	Von vermeintlich Außerirdischen bis zum schnellsten Bakterium der Welt	243
	Sind wir allein im Universum?	244
	Voraussetzungen für außerirdisches Leben	246
	Sind Extremophile vielleicht selbst Außerirdische?	248
	Das Arsenbakterium der NASA	252
	Mikroorganismen aus dem Weltall	255

12 Tummelten sich extremophile Mikroorganismen schon in der Ursuppe?	261
Fragen zur Entstehung des Lebens	262
LUCA – der ursprünglichste Extremophile	265
Das Leben nach LUCA	269
Anhang	273
Glossar	277
Literatur	285
Sachverzeichnis	305

1

Tiere suchen ein Zuhause



Außergewöhnliche Orte auf unserer Erde zeichnen sich durch eindrucksvolle Bewohner und ihre cleveren Anpassungsstrategien an einzigartige Lebensbedingungen aus. Durch seine behaarten Sohlen fühlt sich der Wüstenwuchs selbst auf dem heißen Boden der Wüste sehr wohl. Ebenso kennt wahrscheinlich jeder die Bilder des verschlafenen

Eisbären, der sich nach überstandener Winterschlaf aus seiner Höhle gräbt, um den arktischen Frühling zu begrüßen. Obwohl derartige Leistungen bereits äußerst beeindruckend sind, versetzt uns der Lebenswandel manch anderer Tiere in noch größeres Erstaunen. So haben selbst einige Fische ihre ökologische Nische in der heißen Wüste gefunden. Ein kleiner Frosch friert im Winter in Alaska fast vollständig ein, bevor er im Sommer wieder aus seiner Starre erwacht. Andere Lebensräume, auch Habitate genannt, sind aber so extrem, dass wir lange davon ausgehen mussten, dass dort gar kein Lebewesen zurechtkommen kann; beispielsweise trockene Eiswüsten, Tümpel mit kochendem Wasser, Salzseen oder giftige Abwässer. Aber auch hier finden wir lebende Zellen, denn dies ist das Reich der Mikroorganismen. Auf unserer Reise werden wir sehen, dass es unter diesen winzigen Lebenskünstlern Exemplare gibt, die selbst in den heißesten Wüsten noch frieren oder solche, die sogar durch Sauerstoff getötet werden. Auch das enorme Alter von Tiefseeschwämmen oder einer einsamen schwedischen Fichte wird von ihnen nur belächelt, da sie im ewigen Eis oder in kleinsten Salzkristallen Jahrtausende überdauern, bis sie durch veränderte klimatische Bedingungen wieder zum Leben erwachen.

Von den kältesten Polarmeeren bis zur heißesten Wüste

In der Sonne am Strand liegen, ab und zu zur Abkühlung in die blauen Fluten springen, bei schönem Wetter im Biergarten oder wenn der Wind draußen pfeift mit einer

Tasse Tee vor dem Kamin sitzen: So stellen sich die meisten von uns wahrscheinlich einen angenehmen, entspannten und lebenswerten Tag vor. Manche suchen vielleicht auch einen Adrenalinkick beim Klettern oder Fallschirmspringen oder sie joggen locker durch den Stadtpark. Die Umwelt unseres Planeten bietet jedoch viel mehr als moderate bis tropische Temperaturen oder das kühle Nass im Meer und kann uns Menschen dazu bringen, extremen Bedingungen trotzen zu müssen. Der eine oder andere von uns verfolgt beispielsweise das Ziel, die Polregionen bei Temperaturen weit unter dem Gefrierpunkt zu erwandern oder einen Ultramarathon in der glühenden Hitze der Wüste zu absolvieren. Für derartige Unternehmungen brauchen wir allerdings eine optimale Vorbereitung, jahrelanges Training, passende Kleidung zum Schutz vor Kälte oder starker Sonnenbelastung und die perfekte Ausrüstung. Trotz alledem wären wir aber auch dann nur für kurze Momente in der Lage, uns den extremsten Witterungen entgegenzustellen. Anschließend muss sich unser Körper wieder erholen und oft lange Zeit regenerieren. Der Mensch hält außerdem dauerhaft seine Körpertemperatur bei angenehmen 37 °C aufrecht, was unsere Verbreitung auf der gesamten Erde nahezu unmöglich macht. Andauernde körperliche Strapazen erdulden darum die nomadischen Beduinen, welche die Wüsten der arabischen Halbinseln und Teile der Sahara bevölkern, oder die Inuit und Yupik, die das nördliche Polargebiet von Grönland und Kanada bis Sibirien besiedeln. Auch die Oasen der extrem trockenen Atacamawüste, die den Norden Chiles und den Süden Perus durchzieht, wurden schon vor einigen Tausend Jahren von Menschen bevölkert, deren

Herausforderung darin bestand, sich an die vorherrschenden Witterungsbedingungen anzupassen.

Im Gegensatz zum Menschen nutzen auch Tiere und Pflanzen individuelle Strategien, um sich in unnachgiebigen Lebensräumen auszubreiten. So bilden Seerobben in der Arktis und Seelöwen in der Antarktis immense Fettschichten aus, während der Eisbär ein enorm dichtes Fell trägt, um sich vor Erfrierung zu schützen. Wie Menschen müssen diese Säugetiere dabei ihre eigene Körpertemperatur unabhängig von der Umgebung konstant halten. Zur Erzeugung von Körperwärme müssen die Muskeln in Bewegung bleiben. Das kostet Energie, welche die Tiere sich selbst zuführen müssen. Eine andere Strategie verfolgen wechselwarme Amphibien und Reptilien in kalter Umgebung, die ihre Aktivität schnell einstellen und dadurch abkühlen. Schildkröten und Eidechsen etwa können in tropischen Breitengraden leicht dabei beobachtet werden, wie sie bereits die ersten Sonnenstrahlen nutzen, um nach einer kühlen Nacht Wärme zu tanken.

Eine weitere Anpassungsstrategie verfolgen Fische in den Polarmeeren. Der Eiskrokodilfisch bevorzugt ein Leben bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt. Dass sein Lebensraum dabei nicht gefriert, liegt am erhöhten Salzgehalt des Meerwassers (Kap. 4, Abschn. „Zur ersten Orientierung“). Diese Eisfische sind in der Antarktis weit verbreitet, wo die Wassertemperatur normalerweise 2 °C nicht überschreitet. Sie wurden erstmals vor mehr als 150 Jahren beschrieben und werden in manchen Ländern schon lange als Speisefische geschätzt. Der Berliner Autor Wladimir Kaminer setzte dem Eiskrokodilfisch in seinem Buch „Meine russischen Nachbarn“ ein unterhaltsames

und satirisches Denkmal (Kaminer 2009). Er erzählte, dass dieser Leckerbissen in der ehemaligen Sowjetunion als Grundnahrungsmittel angesehen wurde. Tatsächlich standen verschiedene Arten von Eisfischen in mehreren Ländern so lange Zeit auf dem Speiseplan, dass die Bestände zurückgegangen sind. Eine biologische Ausnahmestellung unter den Fischen nehmen die Eisfische ein, da sie keine roten Blutkörperchen aufweisen und deshalb als „Fische ohne Blut“ bekannt sind (Kock 2006). Heute wissen wir, dass sie tatsächlich mehr Blut als andere Fische ihrer Größe besitzen. Allerdings fehlt ihnen der rote Blutfarbstoff **Hämoglobin**, sodass ihr Blut farblos ist. Da das eisenhaltige Hämoglobin im Blut aller Lebewesen vor allem für den Transport von Sauerstoff essenziell ist, mussten die Eisfische einen anderen Weg zum Überleben finden. Glücklicherweise benötigen sie in ihrem kalten Lebensraum für die Aufrechterhaltung des Stoffwechsels weniger als 20 % der Sauerstoffmenge, die gleichgroße Fische in tropischen Lebensräumen brauchen. Um eine ausreichende Sauerstoffversorgung gewährleisten zu können, verfügen Eisfische ebenfalls über ein vergrößertes Herzvolumen. Der Sauerstoff wird bei ihnen direkt an das Blutplasma gebunden, welches sehr dünnflüssig ist und somit einen schnellen Transport ermöglicht.

An Land toleriert der Eisfrosch sogar noch niedrigere Temperaturen als der Eiskrokodilfisch im Polarmeer. Auch bekannt als nordamerikanischer Waldfrosch, überlebt der Eisfrosch selbst den kalten Winter in Kanadas und Alaskas Wäldern bei Temperaturen weit unter dem Gefrierpunkt. Dabei erfriert dieser Frosch im wahrsten Sinne des Wortes. Untersuchungen haben gezeigt, dass er seine

Körpertemperatur auf weniger als $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ abkühlt und dabei die Atmung, Herz- und Hirnfunktionen und den Blutfluss praktisch vollständig einstellt. Erstaunlich ist aber vor allem, dass der nordamerikanische Waldfrosch wieder auftaut, sobald er die warmen Sonnenstrahlen des Frühlings spürt – ohne bleibende Schäden. Mittlerweile konnte die Ursache für diese besondere Fähigkeit erklärt werden: Diese kleinen Frösche lagern ein besonderes Frostschutzmittel in die Zellen ein, damit sie nicht einfrieren und das Zellinnere flüssig bleibt, was zum Überleben notwendig ist. Lediglich die Zellzwischenräume frieren vollständig ein, was die einzelnen Zellen aber nicht schädigt. Die Eiskristalle schimmern übrigens in der Haut der Frösche und sind sichtbar. Interessanterweise ist das verwendete Frostschutzmittel ein einfacher Zucker, nämlich Glukose. Diese wird vermehrt gebildet, sobald die Temperatur sinkt. Bei moderaten Temperaturen hingegen bleibt der Zuckergehalt in den Zellen niedrig. Auf diese Weise können bis zu zwei Drittel des Frosches vollständig einfrieren.

Im Gegensatz zu dem kalten Wasser im Südpolarmeer und den eisigen Landschaften in Alaska und Kanada, bieten trockene und heiße Wüsten vor allem einen geeigneten Lebensraum für Reptilien und zahlreiche Käfer. Sie sind ebenfalls perfekt an ihre Umgebung angepasst. Wüstenschlangen zum Beispiel gleichen den temperaturbedingten Wasserverlust nahezu ausschließlich durch die Aufnahme von Beutetieren aus. Um die Wasserabgabe weitgehend minimieren zu können, haben sie außerdem nur sehr kleine Nasenlöcher und zischeln auch nicht wie Schlangen in feuchteren Gefilden mit ihren Zungen, um Feinde

zu vertreiben. Wüstenschlangen schrecken ihre Feinde ab, indem sie mit dem Schwanz rasseln oder mit den Schuppen klappern.

Allerdings leben nicht nur Reptilien und Insekten in Wüsten. Selbst einige Lebewesen, die wir in einem solchen Lebensraum überhaupt nicht erwarten würden, können wir hier entdecken (*Kasten 1.1 – Ein Fisch in der Wüste*). Wegen seiner überdimensionierten Ohren ist der Wüstenfuchs (auch Fennek genannt) dagegen ein sehr auffälliger Bewohner, der besonders in der extrem trockenen Sahara im Norden Afrikas beheimatet ist. Die riesigen Ohren dienen vor allem dazu, Wärme an die Umgebung abzugeben und eine Überhitzung des Körpers zu verhindern. Dazu erweitern sich die Blutgefäße in den Ohren des Fuchses. Seinem schneeliebenden Verwandten, dem Polarfuchs, würden solche riesigen Ohren zwar sicherlich auch hervorragend zu Gesicht stehen, allerdings würden sie bei den eisigen Temperaturen in seinem Lebensraum auch sehr schnell erfrieren. Deshalb besitzt der Polarfuchs kleine Ohren. Besonders beeindruckend ist auch der Umstand, dass der Fennek seinen Energiehaushalt enorm gut regulieren kann. So atmet er normalerweise mit weniger als 30 Atemzügen pro Minute. Bei Stress und Anstrengung schafft er aber bis zu 700 Atemzüge, um seinen kleinen Körper schnell mit Sauerstoff zu versorgen. Im Ruhezustand atmet der Mensch je nach Alter etwa 12- bis 20-mal pro Minute. Durch die Ausscheidung von hochkonzentriertem Urin verhindert der Fennek außerdem eine übermäßige Abgabe von kostbarem Wasser in seinem trockenen und heißen Zuhause.

Kasten 1.1 – Ein Fisch in der Wüste

Der Teufelskärpfling ist ein etwa 3 cm kleiner, vom Aussterben bedrohter Fisch, den wir normalerweise in einem Fluss oder einem Teich vermuten würden. Der kleine Kerl bevorzugt allerdings heiße Umgebungen und hat sich deshalb in die Wüste im kalifornischen Death Valley aufgemacht. In einer kleinen Population von etwa hundert Exemplaren lebt der Teufelskärpfling in einer lebensfeindlichen Umgebung über einer Thermalquelle in einem Kalksteinbecken, das durch Felsen von der Oberfläche abgeschirmt ist. Passenderweise wird der Eingang zu dieser Thermalquelle als Teufelsloch (engl. *Devil's hole*) bezeichnet.

Aufgrund der kontinuierlichen Sonneneinstrahlung im Sommer bei angenehmen 30 bis 40 °C bildet sich ein dichter Algenrasen am Teufelsloch, der von den kleinen Fischen abgeweidet werden kann. Wenn im Winter die Tage jedoch kürzer und dunkler werden, geht der Algenbewuchs so stark zurück, dass der Teufelskärpfling hungern muss. Umso erstaunlicher ist es, dass sich die einzige Population dieser Art in diesem Lebensraum ansiedeln konnte und bis heute überlebt hat. Erst kürzlich fanden einige Wissenschaftler um den amerikanischen Evolutionsbiologen Christopher Martin heraus, dass der Zeitpunkt, an dem die Teufelskärpflinge das Teufelsloch eroberten, längst nicht so lange her ist, wie sie ursprünglich vermutet hatten (Martin et al. 2016). Dazu verglichen sie das **Genom** mit nahe verwandten Arten und konnten belegen, dass der Teufelskärpfling erst vor etwa 10.000 Jahren das Death Valley erreicht hat. Glücklicherweise fällt dieser Zeitraum auch mit einer Zeit zusammen, zu der große Teile des Tals zum letzten Mal vollständig überflutet waren, sodass die Besiedelung durchaus plausibel erscheint. Noch erstaunlicher werden diese Belege aber erst durch die Hypothese von Martin und seinen Kollegen, die besagt, dass der Fisch seinen jetzigen Lebensraum, das Teufelsloch, erst mehr als 9000 Jahre nach der Eroberung des Death Valley, also vielleicht erst im vergangenen Jahrhundert, erreichte. Da es keine Verbindung zwischen der Höhle und anderen Gewässern gibt, müssen kurzzeitige

Regenfälle und dadurch entstandene Rinnsale für den kleinen Wüstenfisch ausreichend gewesen sein, damit er seine Höhle beziehen konnte.

Doch es geht noch effektiver: Im Gegensatz zum Wüstenfuchs verzichtet die Kängururatte gänzlich auf das Trinken. Man könnte jetzt vermuten, dass sie somit auch kein Wasser ausscheiden kann, aber so einfach ist es nicht. Auch der Körper dieser winzigen Springmaus besteht zu einem Großteil aus Wasser, welches sie vor allem aus ihrer Nahrung bezieht. Erstaunlicherweise fressen Kängururatten aber ausschließlich Samen, die so trocken sind, dass sie durch die Lebensmittelfeuchte ihren Wasserbedarf unmöglich decken könnten. Diesen Widerspruch konnten Forscher mit einer spektakulären Erklärung auflösen: Indem der Körper des kleinen Nagers die nährstoffreichen Samen verbrennt, entsteht genug Wasser das der Maus zum Leben reicht. Dieses Wasser wird auch als Stoffwechselwasser bezeichnet, da es während des Stoffwechsels in den Zellen von allen Lebewesen entsteht. Jedoch sind nur sehr wenige trockenliebende Geschöpfe wie die Kängururatte in der Lage, mit diesem Wasser nahezu ihren kompletten Feuchtigkeitsbedarf zu decken. Um einen lebensfeindlichen Wasserverlust zu vermeiden, verbringt sie übrigens die meiste Zeit des Tages unter der Erde und geht erst während der Nacht in der kühlen Wüste auf die Jagd. Dabei macht die kleine Maus ihrem Namen alle Ehre und bewegt sich, für sie typisch, hüpfend auf den großen Hinterbeinen fort, was stark an die Miniaturausgabe eines Kängurus erinnert.

Bizarre Ungeheuer der Tiefsee

Abseits der Wüsten, Meere und Wälder bieten besonders die kalten Regionen in der nahezu unerforschten Tiefsee Lebensräume für die wundersamsten Tiere. Sie sind optimal an ihr jeweiliges **Habitat** angepasst, ohne dass ihre Körper durch den enorm hohen Druck der Tiefsee zerquetscht oder die lebenswichtigen Gase aus den Zellen herausgepresst werden. Der Mensch hingegen kann nur wenige hundert Meter tief tauchen, bevor der enorme Druck dem Körper schadet. Der Lebensraum der Tiefsee reicht bis mehr als 10.000 m hinunter. In dieser erdrückenden Umgebung sind einige der faszinierendsten Kreaturen zuhause. Hier finden wir etwa die Riesenkalmare und den „Vampirtintenfisch aus der Hölle“ mit dem klangvollen Namen *Vampiroteuthis infernalis*. Einige der sicherlich bizarrsten Lebewesen sind beispielsweise die leuchtenden Angler- und Drachenfische. Auch die mehrere Kilogramm schweren Riesenasseln, die mit den bekannten kleineren Kellerasseln verwandt sind, fühlen sich in der kalten Finsternis sehr wohl. Ein wenig gruselig wird es, wenn wir den Gespensterfisch mit seinem transparenten Kopf und dunklen Körper betrachten. Seine Augen sind im durchsichtigen Kopf eingelassen und frei bewegbar, sodass er sowohl nach oben als auch geradeaus schauen kann, wodurch er stets den Überblick behält, den er in seinem dunklen Lebensraum dringend benötigt.

Sehr eigenartige Vertreter sind auch die Scheibenbäuche. Diese Fische wurden in Tiefen von mehr als 8000 m gefangen und halten seit einer Sichtung im

Marianengraben den Rekord der am tiefsten lebenden Fische. An der tiefsten Stelle aller Ozeane, im **Challengertief** innerhalb des Marianengrabens, sind zum Beispiel auch die Flohkrebse der Art *Hirondellea gigas* zuhause. Über diesen Lebensraum wissen wir bisher fast nichts und selbst auf dem Mond waren bereits viermal so viele Menschen wie am tiefsten Punkt der Ozeane. Der Marianengraben ist etwa 11.000 m tief und erstreckt sich über eine 2500 km lange Distanz im Pazifik zwischen Papua-Neuguinea und Japan nahe der mikronesischen Inseln (Kap. 5, Abschn. „[Der tiefste Punkt der Ozeane](#)“). Im Vergleich dazu beträgt die durchschnittliche Tiefe der Weltmeere nur etwa 4000 m. Die Flohkrebse aus der Tiefsee werden mit 5 cm mehr als doppelt so groß wie ihre Verwandten, die gemeinen Strandflöhe, welche praktisch alle Sandstrände Europas (Strände des Mittelmeers, des Atlantiks, der Nord- und Ostsee) bevölkern. Ihre Größe gibt allerdings zahlreiche Rätsel auf, da in den Tiefen der Ozeane meistens ein extremer Nahrungsmangel vorherrscht und diese kleinen Krebse trotzdem in großen Schwärmen auftreten.

Ein tapsiger und widerstandsfähiger Sonderling

Äußerst interessante Bewohner im Meer finden wir jedoch nicht nur in der Tiefsee. Eine der wundersamsten Tiergruppen ist in allen Meeren und selbst in feuchten Gegenden an Land zu Hause. Sie sind winzig klein, wirken etwas

plump und haben einen eigenartigen Gang. Bärtierchen sind mikroskopisch kleine Lebewesen von etwa 1 mm Länge, die durch ihre Erscheinung entfernt an Bären erinnern. Mithilfe ihrer acht beinähnlichen Ausstülpungen bewegen sie sich langsam vorwärts. Allerdings laufen sie nur selten, da sie hauptsächlich passiv durch Strömungen oder Wind fortbewegt werden. Bärtierchen kommen praktisch überall vor, wo nasse oder wenigstens feuchte Lebensräume zu finden sind. Aufgrund ihrer Vorliebe für Gewässer werden sie auch als Wasserbären bezeichnet. Sie fühlen sich überall wohl und ernähren sich von allem, was sie finden. Dabei machen sie keinen Unterschied zwischen einem vegetarischen Speiseplan oder dem Fressen von Kleinstlebewesen. Auch bei der Fortpflanzung sind sie sehr speziell. Wenn kein männlicher Partner zugegen ist, können die Weibchen auch unbefruchtete Eier ablegen, denen sie eine Befruchtung vorgaukeln und die dann trotzdem mit der Zellteilung beginnen und zu Nachkommen heranwachsen. Da Bärtierchen bisher keinerlei medizinische, biotechnologische oder wirtschaftliche Relevanz besaßen, sind sie den meisten Menschen eher unbekannt. Unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten sind sie aber enorm faszinierend.

Entdeckt wurden Bärtierchen bereits vor mehr als 200 Jahren. Seit einiger Zeit sind sie besonders in der Entwicklungsbiologie beliebte Forschungsobjekte. Ebenso wie bei Fadenwürmern, die als Modellorganismen in dieser Disziplin weit verbreitet sind, wird ihre Entwicklung durch einen genau festgelegten Plan definiert, der in einer exakten Anzahl von Zellen im erwachsenen Tier resultiert. Interessanterweise entwickelt sich ein Bärtierchen auch

dann noch normal, wenn nach der ersten Zellteilung eine der beiden Tochterzellen abgetötet wird. Allerdings besteht der wachsende Embryo dann nur noch aus halb so vielen Zellen. Zudem wachsen Bärtierchen im Alter nicht mehr auf herkömmliche Art und Weise, sondern häuten sich ähnlich wie Spinnen. Taxonomisch werden sie passenderweise in den Überstamm der Häutungstiere eingeordnet, zu denen ebenfalls weitere äußerst skurrile Lebewesen wie die Stummelfüßer, Korsettierchen und Hakenrüssler gehören.

Mit dem Blick auf besondere Lebensräume sind Bärtierchen aber vor allem aufgrund ihrer Widerstandskraft gegenüber verschiedenen physikalischen Einflüssen interessant. Sie trotzen der eisigen Kälte im Himalaya und auf dem antarktischen Kontinent, sie überleben zeitweise bei Sauerstoffmangel und sind sogar in der Lage, im Nichts des Weltalls zu existieren. Wenn die Umweltbedingungen zu harsch werden, verlangsamen sie einfach ihren Stoffwechsel und verändern die Zellstruktur. Das kann sogar dazu führen, dass sie beginnen, ihre eigenen Organe abzubauen, um ihre übrigen Zellen mit Energie zu versorgen. Bärtierchen können nicht nur einen derartigen Zustand lange beibehalten, sie sind außerdem in der Lage, sowohl Temperaturen nahe des absoluten Nullpunkts (also $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$) als auch von kochendem Wasser zu widerstehen und können sogar mit erhöhten Dosen radioaktiver Strahlung oder fast vollständiger Austrocknung gut umgehen. Lazzaro Spallanzani, ein italienischer Universalgelehrter, stellte bereits im 18. Jahrhundert fest, dass Bärtierchen unter geeigneten Umweltbedingungen „wieder von den Toten aufzuerstehen scheinen“. Da sie nicht altern, so lange sie

ihren Stoffwechsel gestoppt haben, können sie in diesem Zustand viele Jahre überdauern.

Das erst kürzlich sequenzierte **Erbgut** eines Bärtierchens sollte Aufschluss darüber geben, wie es möglich ist, dass dieser winzige Organismus so unglaublich widerstandsfähig ist. Sollte sich die Resistenz gegenüber verschiedensten extremen Bedingungen langsam im Laufe der Evolution entwickelt und sollten die Eigenschaften in den Bärtierchen sich gezielt angesammelt haben? Eine US-amerikanische Forschergruppe um den Entwicklungsbiologen Bob Goldstein staunte nicht schlecht, als sie herausfand, dass das erste sequenzierte **Genom** des Bärtierchens zu mehr als 15 % aus Erbinformation besteht, die ursprünglich nicht aus dem Bärtierchen selbst oder seinen Vorfahren zu stammen scheint (Boothby et al. 2015). Diese fremde genetische Information wurde wahrscheinlich durch **horizontalen Gentransfer** von Bärtierchen oder ihren Vorfahren aufgenommen. Horizontal bedeutet in diesem Zusammenhang, dass fremdes Erbgut aus der Umwelt oder von anderen Lebewesen erhalten wurde, während der vertikale Gentransfer die Vererbung an die eigenen Nachkommen während der Reproduktion beschreibt. Erstaunlicherweise konnten die Wissenschaftler etwa 6000 **Gene** nachweisen, die aus **Bakterien**, Pflanzen und Pilzen zu stammen scheinen. Es wurde spekuliert, dass der verringerte Stoffwechsel und die lange Zeit andauernde Leblosigkeit bei extremen Bedingungen dazu führen könnten, dass das Erbgut der Bärtierchen zerfällt und gleichzeitig ihre Zellhüllen brüchig werden. Fremdes Erbgut aus der Umwelt dringt dann leicht in die Zellen ein. Wenn die Bärtierchen zu einem

späteren Zeitpunkt aus ihrer Starre erwachen, wird ihr Erbgut schnell repariert und die fremden Anteile werden eingebaut, sodass die genetische Information gesichert ist. Wenn es sich dabei um Gene handelt, die ein Überleben unter besonders harschen Bedingungen im natürlichen Lebensraum begünstigen, manifestieren sich diese in der Population und breiten sich aus. Allerdings wurde auch schnell Kritik an der Studie laut, die besagt, dass die fremde genetische Information gar nicht im Genom integriert, sondern bei der Analyse durch Kontaminationen in die Experimente gelangt ist (Koutsovoulos et al. 2016).

Die Analyse eines weiteren Genoms aus einer verwandten Art bestätigte zumindest bereits, dass Bärtierchen ein ausgefeiltes Reparatursystem besitzen, das Schäden im Erbgut womöglich schneller beseitigt als bei jedem anderen Tier. Einige Gene, die für Reparaturwerkzeuge kodieren und das Erbgut vor Schäden schützen, sind im Genom der Bärtierchen in einer Vielzahl von Kopien vorhanden und könnten die erhöhte Resistenz gegen Erbgutschäden erklärbar machen. Diese Analyse zeigte auch, dass die Funktion von fast der Hälfte aller Gene im Erbgut dieser zweiten Art der Bärtierchen völlig unbekannt ist und auch bei anderen Lebewesen nicht vorzukommen scheinen. Ein zuvor unbekannter Faktor konnte bereits im Detail studiert werden: Ein **Protein** lagert sich an das Erbgut in der Zelle an und kann es dadurch vor äußeren Einflüssen schützen. Umso erstaunlicher war es, dass die Wissenschaftler nachweisen konnten, dass dieses Protein auch die Genome in anderen Zellen, beispielsweise in menschlichen Zelllinien, absichert, wenn es verabreicht wird (Hashimoto et al. 2016). Da nicht nur die genetische

Information während des Abwartens bei derartigen Bedingungen geschützt werden muss, machten sich nun einige Bärtierchenforscher auf, um weitere Schutzmechanismen zu analysieren. Und wieder waren die Wissenschaftler um Goldstein am schnellsten, als sie erst kürzlich eine Gruppe von Proteinen identifizierten, die sich schützend um andere Proteine und weitere Zellbestandteile lagern und so deren Zerstörung verhindern (Boothby et al. 2017). Schnell wurde spekuliert, dass derartige Proteine auch genutzt werden könnten, um pharmazeutische Wirkstoffe zu stabilisieren oder Nutzpflanzen widerstandsfähiger zu machen, sodass Bärtierchen nach mehr als 200 Jahren Forschungsgeschichte nun doch noch für angewandte und wirtschaftlich relevante Forschungsweige interessant werden könnten.

Wer ist der Methusalem unter den Lebewesen?

Alt zu werden, ohne dabei in Totenstarre wie die Bärtierchen verfallen zu müssen, ist sicherlich ein erstrebenswertes Ziel für den Menschen. Wir möchten gerne im Alter weise sein und zufrieden auf ein ereignisreiches und langes Leben zurückschauen können. Durch unsere herumtollenden Urenkel könnten wir uns an die eigene lange vergangene Kindheit zurückerinnern und in diesen Gedanken zufrieden schwelgen. Einigen Menschen war es vergönnt, ein wahrlich biblisches Alter zu erreichen. Der erwiesenermaßen älteste Mensch der Welt war die Französin Jeanne

Calment, die 122-jährig im August 1997 verstarb. Damit führt sie eine eindrucksvolle Liste an, wobei sie als einzige Person, die älter als 120 Jahre wurde, einsam an der Spitze thront. Unter den zehn ältesten Menschen der Welt ist übrigens bisher kein einziger Mann zu finden. Der Japaner Jiroemon Kimura erreichte ein Alter von 116 Jahren bevor er verstarb und ist damit auf Platz 14 der Liste der langlebigsten Menschen anzutreffen.

Während der Mensch besonders durch die Fortschritte in der modernen Medizin immer älter wird, leben die meisten Tiere im Vergleich doch eher kurz. Allerdings sollten wir uns von sehr geläufigen Namen nicht unbedingt täuschen lassen. So lebt die Eintagsfliege nicht wirklich nur einen Tag, sondern entwickelt sich über das für Insekten typische Larvenstadium mit vielen Häutungen schließlich zur fertigen Fliege. Ihren bildhaften Namen hat diese Gruppe von Insekten mit einigen Tausend Arten aber tatsächlich dem Umstand zu verdanken, dass das adulte Fliegenstadium extrem kurz ist. Je nach Spezies existieren die erwachsenen Fliegen nur einen bis wenige Tage oder sogar nur einige Minuten, bevor sie sterben. Diese kurze Zeitspanne nutzen sie übrigens nur noch zur Fortpflanzung.

Weit verbreitet in der Natur sind auch einjährige Lebewesen, deren Lebensweise normalerweise besonders stark von den Jahreszeiten abhängt. Bei Pflanzen ist eine Lebensdauer von einem Jahr besonders häufig. Die Samen überwintern normalerweise und im Frühjahr wachsen neue Keimlinge heran. Und selbst bei höheren Tieren ist ein vergleichbarer Lebensrhythmus zu finden. So leben einige der in Afrika und Amerika weit verbreiteten Zahnkärpflinge, die sogenannten Killifische, ebenfalls nur