

DATENLOGGING

Methodik im Vordergrund



„Tracking – der gläserne Vogel“ ist ein lebhaft geschriebenes 120 Seiten langes und reichlich bebildertes Buchlein über die Verfolgung der

Lebensweise einiger Vogelarten durch Datenlogger. Die Logger-Geräte ermöglichen es seit kaum mehr als einem halben Jahrhundert, den genauen Aufenthaltsort einzelner Tiere exakt zu verfolgen. Das Datenlogging revolutionierte die seit Ende des neunzehnten Jahrhunderts gängige Methode der Vogelzugforschung durch Beringung, deren Erfolge wegen der relativ geringen Wiederfundraten begrenzt waren.

Das Buch ist von dem Zoologen Stefan Garthe (2013–2018 Präsident der Deutschen Ornithologen-Gesellschaft) und der Biologin und Fachjournalistin Ulrike Kubetzki geschrieben. Der Titel des Buches erweckt ein bisschen den Eindruck, als würde man viel über die Ziele und Wanderungen der Zugvögel erfahren; das ist aber nicht der Fall. Das Buch ist von Meeresbiologen verfasst und beschränkt sich daher fast ausschließlich auf Meeresvögel; die Landvögel werden nur gelegentlich am Rande betrachtet. Auch erfährt man wenig über die Zugwege. Das Buch behandelt überwiegend das Vogeltracking, enthält aber auch viele seitenlange Meinungsäußerungen zum Natur- und Umweltschutz, zur Gründung der Naturschutzorganisationen, zu den Richtlinien, wie man eine seriöse Naturwissenschaft betreibt, zu den Prognosen über die Zunahme der Weltbevölkerung und zur Qualität der Bürgerwissenschaften (*Citizen Science*); man erfährt, dass der Wanderfalke der schnellste Vogel der Welt ist – Themen, die man eigent-

lich in einem Sachbuch über Vogeltracking durch Datenlogger nicht unbedingt erwartet. Das Buch ist sehr erzählerisch aufgebaut. Vielfach werden persönliche Erlebnisse beschrieben, wie z. B. die Überfahrt zur Tölpel-Brutstätte auf *Bass Rock* in Schottland und die Erlebnisse der Autoren beim Besuch der großen Basstölpel-Kolonie auf Bonaventura Island in Kanada. Da ist auch von Elchen, Bibern und Streifenhörnchen die Rede.

Das Kapitel 2 „Die Welt der Naturwissenschaften“ (9 Seiten) handelt über Sinn und Wert der Naturwissenschaften, wie man zu Erkenntnissen kommt und über Leitlinien und Ethik der wissenschaftlichen Praxis. Dieses Kapitel ist ein bisschen trivial und passt nicht so recht in ein Sachbuch über Methoden und Ergebnisse der Erforschung von Tierwanderungen.

Das Kapitel 3 berichtet über die Erfolgsgeschichte von neu gewonnenen Erkenntnissen, die mit Datenloggern an Seevögeln gewonnen wurden: Pinguin-Arten, Wanderalbatros, Heringsmöwe und Basstölpel. Alle Seevogel-Arten brüten an Land, so dass viel über ihr Brutverhalten und die Jungen-Aufzucht bekannt war, nicht aber über ihren Nahrungserwerb und die Wanderwege. Gemessen wurden: Körpertemperatur, Säuregehalt und Temperatur des Magens sowie Darmperistaltik, Tauchtiefe (Kaiserpinguine schaffen über 500 Meter) und Positionsbestimmungen über GPS-Datenlogger. Man erfährt sehr viel über die technische Funktion der Geräte, von welchen Firmen sie besorgt wurden, dass ihre Messgenauigkeit vom Wetter abhängig ist, dass sie durch eindringendes Salzwasser auch manchmal beschädigt wurden und dass die technische „Entwicklung rasant voranschreitet“. Nicht so viel erfährt man über die Messergebnisse: wohin die Vögel denn nun wandern und was sie fressen. Dazu bleiben viele Aussagen zu allgemein: „die Aktivität des Vogels im Tagesverlauf“ wurde analysiert, „der Einsatz der Geräte findet breite Anwendung in Themenfeldern wie

Physiologie, Verhaltensforschung oder Ökologie...“. Aber was kam dabei heraus?

Das gesamte Kapitel 4 ist der „Ethik und Moral“ gewidmet: Die Handhabung muss „möglichst schonend und artgerecht“ erfolgen. Der Leser erfährt, dass „Deutschland ein sehr strenges Tierschutzgesetz“ hat. Das lange Kapitel 5 (54 Seiten) ist überwiegend dem Basstölpel gewidmet, dem Hauptforschungsobjekt des Erstautors. Hier erfährt man, wo die Tölpel vom schottischen *Bass Rock* überwintern und wie Tölpel von Helgoland auf Nahrungsflüge gehen. Auch dieses Kapitel beginnt wieder mit allgemeinen Feststellungen, u. a. dass „die Grenzen des Wissens durch den technischen Fortschritt stetig erweitert werden.“

In diesem Kapitel werden zwei populäre Themen des Natur- und Umweltschutzes aufgegriffen und erfreulich ideologiefrei analysiert: (1) der über Bord geworfene Beifang aus den effizienten Fangnetzen der Fischereiflotten und (2) die Auswirkung der Offshore-Windparks auf hoher See auf die Vogelbestände. Sehr sachlich wird festgestellt, dass sich mittlerweile „viele Seevögel“ als Schiffsverfolger auf das Nahrungsangebot des Beifangs eingestellt haben, was zur starken Vermehrung einiger Arten geführt hat. Auch zum Problem der Offshore-Windparks (2) wird eine moderate Haltung eingenommen. Die Kollisionsgefahr ist gering, weil die Vögel die Windpark-Regionen umgehen, aber sie verlieren dadurch wertvolle Lebensräume, gerade die nahrungsreichen Flachwasserzonen, auf denen die Windparks errichtet werden. Auf Seite 85 werden fünf wissenschaftliche Fragen gestellt, die bei der Errichtung von Windparks beachtet werden sollten. Die Fragen werden aber nicht beantwortet. Der Leser erfährt, dass die Windparks „an möglichst optimalen Standorten gebaut werden“ sollten.

Alles in allem ist dies ein lesenswertes Buch, das einen Überblick über die modernen Methoden des

Vogeltrackings durch Datenlogging gibt und dazu ein ausführliches Literaturverzeichnis bietet. Wer aber etwas über die Wanderwege der Zugvögel erfahren möchte, für den ist es das falsche Buch.

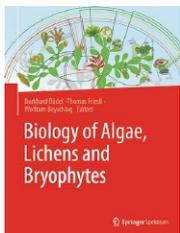
Werner Kunz, Grevenbroich

Tracking – Der gläserne Vogel.

Erkenntnisse, Berichte und Reportagen aus der Praxis. Stefan Garthe, Ulrike Kubetzki, Aula-Verlag Wiebelsheim, 2023, 120 S., 19,95 Euro, ISBN 978-3-89104-860-3.

BOTANIK

Die Neuen Kryptogamen



Soeben ist im Springer-Verlag ein modernes Handbuch über Cyanobakterien, Algen, Flechten und Moose erschienen. Elf

Autoren, alles führende Spezialisten auf ihrem Gebiet, haben sich sehr gut abgestimmt und ein Buch wie aus einem Guss geschaffen. Drei von ihnen übernahmen zusätzlich die Aufgabe als Herausgeber. Sie vereinen ihr Wissen und ihre Erfahrung in einem opulenten Werk über diese entwicklungs- und produktionsbiologisch so wichtigen Gruppen niederer Pflanzen.

Die Auswahl der Organismengruppen überrascht und geht auf neueste Erkenntnisse zurück. Die Autoren prägen dafür den Begriff der *new cryptogams*. Diese umfassen alle „nicht-vaskulären“ Organismen mit der Fähigkeit zu oxygener Photosynthese und permanenter hydropassiver Lebensweise, d. h. dass deren Zell- und Körperform sowie Funktion vom Wasser abhängig sind. Konsequenterweise gehören neben den Cyanobakterien und Algen auch die Flechten und Moose zu den Neuen Kryptoga-

men. Als Primärproduzenten existieren sie überall dort, wo genügend Wasser und Licht hinkommt. In ihren terrestrischen und aquatischen Habitaten produzieren sie mehr als die Hälfte des Sauerstoffs auf der Erde. Im Vergleich zu den Gefäßpflanzen (Farne, Nackt- und Bedecktsamer) stellen sie etwa 40 Prozent des Artenreichtums und mehr als 50 Prozent der Produktivität.

Schwerpunkte der Bearbeitungen zu den einzelnen Gruppen bilden Anatomie, Ontogenie, Systematik, Ökophysiologie und Bedeutung für das Netzwerk der Natur. Gebührend breiter Raum wird den Symbiosen gewidmet, ohne die es die Chloroplasten nicht gäbe. Deren Ursprung liegt in ältesten photosynthetischen Cyanobakterien, aus denen sich über primäre und sekundäre Endosymbiosen in primitiven Euzyten schließlich Plastiden in diversen Algengruppen entwickelten. Das Thema Symbiosen zieht sich wie ein roter Faden durch alle Organismengruppen.

Ein Überblick über die bearbeiteten Gruppen zeigt, wie alles miteinander vernetzt ist (*reticulate evolution*): Cyanobakterien als älteste phototrophische Organismen entwickelten die Photosynthese vor ca. 3 Milliarden Jahren und veränderten damit die Natur der Erde im Wasser und an Land nachhaltig. Sie drangen im Laufe der Evolution praktisch in alle Sphären der Erdkruste und Feuchthabitate vor und entwickelten eine außerordentliche Vielfalt in Form und Lebensweise. Durch Endosymbiose zwischen prokaryotischen Cyanobakterien und heterotrophen Euzyten als Wirt entstanden verschiedene unabhängige Algengruppen, die in ihrer Heterogenität und Diversität von keiner anderen Organismengruppe übertroffen werden. Die Evolution phototropher Eukaryoten ging vor 2–1,5 Milliarden Jahren vonstatten. Ergebnis dieses Prozesses der primären Endosymbiose waren die Linien der Archaeplastidae, die in Glaucophyta, Rhodophyta, Chloroplastida und Cercozoa aufspalteten. Weitere Evolutionsschritte fanden im

Zuge von sekundären Endosymbiosen statt, bei der die Linien der Heterokontophyta, Dinoflagellaten, einer weiteren Gruppe von Cercozoa, Euglenen, Haptista und Cryptista entstanden. Flechten gelten als Inkarnation von Symbiose zwischen Pilzen und Algen. Das Buch lenkt die Aufmerksamkeit darauf, dass es sich bei dieser Gruppe um *multispecies*-Symbiosen handelt: Als Mycobionten fungieren meistens mehrere Cyanophyceen und Algenarten. Hinzu kommen mit den Flechten assoziierte bakterielle Gemeinschaften. Früheste Landpflanzen werden durch die Bryophyten (Moospflanzen) gestellt, die sich wahrscheinlich aus den Charophyceae abgeleitet haben. Das Buchkapitel zeigt, wie sich die Bryologie von einer vorwiegend beschreibenden Wissenschaft zu einer mit immer mehr experimentellen Aspekten wandelt. Dies trägt der Bedeutung dieser Pflanzengruppe für viele Ökosystemprozesse Rechnung. Interaktionen der Moospflanzen mit ihrer belebten und unbelebten Umwelt sind bisher unterschätzt worden.

All diese hier nur kurz angeschnittenen Gruppen niederer Pflanzen werden ausführlich und mit vielen neuen Facetten im Buch dargestellt. Das großformatige Werk ist vom Verlag sehr gut ausgestattet worden. Es ist reich bebildert mit meist farbigen Fotos und – besonders hervorzuheben – mit hervorragenden Grafiken, viele von ihnen original produziert vom Grafiker F. Spindler und den jeweiligen Autoren.

Das Buch kann vorbehaltlos empfohlen werden und wird seinen Platz in Lehre und Forschung finden.

Lothar Krienitz, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin

Biology of Algae, Lichens and Bryophytes.

B. Büdel, T. Friedl, W. Beyschlag (Eds.), Springer Spektrum Berlin, Heidelberg, 2024, 662 S., 149,79 Euro, ISBN 978-3-662-65711-9.

SINNESPHYSIOLOGIE

Zugang für Laien



Organismen interagieren mit ihrer Umwelt – „physikalisch“, wenn wir sehen, hören und sprechen, „chemisch“, wenn wir riechen und schmecken. Phy-

sikalisch gelingt die Kommunikation auch über größere Distanzen, chemisch sind wir mehr ortsgebunden. Die physikalische Kommunikation ermöglicht u. a. die sprachliche Artikulation von Gedanken, allgemein von psychischen Zuständen. Die chemorezeptive Wahrnehmung hingegen erscheint oft als schwer verbalisierbar, man muss sie umschreiben: ein Duft wie von Lavendel, ein Gestank wie von faulen Eiern. So kam es zur Charakterisierung der physikalischen als den höheren, der chemischen als den niederen Sinnen. Warum diese Kategorisierung als veraltet gilt, kann man in dem angenehm leicht geschriebenen, aber gleichwohl profunden Buch von Wolfgang Skrandies, Professor für Physiologie an der Universität Gießen, nachlesen.

Wie der Untertitel anzeigt, geht es dem Autor nicht nur um die Anatomie und Physiologie des Riechens und Schmeckens, sondern auch um die Rolle der Chemorezeption im normalen Leben und in Bereichen wie der Philosophie und der Literatur. Für Nichtchemiker, Nichtbiologen und Nichtmediziner, deren Erinnerungen an die Chemiestunden in der Schule oft verblasst sind, bietet Skrandies einen ebenso informierenden wie anregenden Zugang zu einem Gebiet, das üblicherweise nur über Vorwissen verlangende Fachliteratur zugänglich ist.

In den beiden ersten Kapiteln gibt der Autor einen Überblick über die allgemeine Bedeutung von Geruch und Geschmack für unser

Leben. Gerüche vermitteln im wörtlichen Sinn die Atmosphäre einer Umgebung, lösen – oft in Kombination mit dem Geschmackssinn – Schutz- oder Lustreaktionen und gelegentlich auch Erinnerungen aus, und sie können Informationen über andere Menschen liefern.

Der Autor erweckt auf geschickte Weise beim Leser die Motivation, sich mit den im dritten, den wissenschaftlichen Kern des Buches bildenden Kapitel gelieferten anatomischen und physiologischen Details des Riechens und Schmeckens zu beschäftigen. Eine sehr gute Idee des Autors sind die in den Text eingeführten Anleitungen zu kleinen Experimenten, die die beschriebenen Sachverhalte direkt erfahrbar machen und die jeder Leser ohne weitere Hilfsmittel zuhause im Wohnzimmer durchführen kann.

Philosophische Betrachtungen zur Chemorezeption beziehen sich weniger auf die zugrundeliegenden physiologischen Mechanismen und mehr auf Einordnungen in abstrakte Kategorien wie höhere und niedere Sinne. Man kann die Anmerkungen des Autors zu diesem Thema als unterhaltsame Beispiele für Bizarreien des Geisteslebens lesen, aber ebenso als Kritik an einer von keiner Empirie gebremsten Hermeneutik. So assoziiert Kant den Geruchssinn mit Sittenverfall und Ausschweifung. Der Psychoanalytiker Sigmund Freud interpretiert das Phänomen des sich Schämens als das „Zurücktreten der Geruchsreize als Abwendung des Menschen von der Erde“ und darüber hinaus als Folge des „Entschlusses zum aufrechten Gang“, da beim aufrechten Gang die Genitalien „sichtbar und schutzbedürftig“ werden. So erscheint das Denkmögliche durch suggestive Formulierung als Tatsache.

Skrandies beschreibt die literarische Charakterisierung von Gerüchen beim Erinnern bzw. die Auslösung von Erinnerungen durch Gerüche („Proust-Effekt“ oder „Gerüche sind oft wie platzende Blasen

der Erinnerung aus der Tiefe der Zeiten“, H. v. Doderer), des Effekts des Körpergeruchs und der modernen Hygiene und allgemein des Geschmacks. Skrandies liefert einen Streifzug durch die Literatur, vom japanischen Haiku über Shakespeare zu Goethes Faust und Schillers faulenden Äpfeln, von Süskinds „Parfüm“ bis zu Sir Conan Doyles Empfehlungen an Kriminalisten.

In den letzten beiden Kapiteln geht der Autor auf eine Reihe von Aspekten der chemischen Sinne ein, u. a. liefert er eine kurze Geschichte der Entwicklung der Hygiene. Seine Schilderung der Rolle von Emotionen bei der Chemorezeption als Folge der Verbindung der entsprechenden Wahrnehmung mit verschiedenen Hirnarealen steht in wohlthuendem Kontrast zur gerade angesagten philosophischen Mode, die Unabhängigkeit des Bewusstseins vom Gehirn zu behaupten. Skrandies beschreibt die Bedeutung des Geruchs bei medizinischen Diagnosen ebenso wie die unterschätzte Rolle des Geruchs bei Stereotypen von „anderen“ Menschen – der angebliche Gestank des Feindes erleichtert die physische Vernichtung des Feindes und informiert über die in der Öffentlichkeit anscheinend kaum bekannte, 1988 konzipierte Definition der Maßeinheit Olf (wohl von lat. *olfactus* = das Riechen, der Geruch) für die Intensität von Gerüchen sowie über die Wirksamkeit von Pheromonen, u. a. bei der olfaktorischen, also nonverbalen Kommunikation über Unterschiede zwischen bestimmten genetischen Strukturen, die eine höhere Effizienz des Immunsystems des Nachwuchses implizieren können. Über das rein Wissenschaftliche hinaus bietet Skrandies eine Fülle von Beispielen zur Rolle der chemischen Sinne, vom Erkennen verdorbener Speisen über die lindernde Wirkung von Düften in der Heilkunde bis zum erhebenden Effekt von Düften bei religiösen Andachten.

Es ist dem Autor gelungen, die Falle trockener Aneinanderreihung

von Fakten zu vermeiden und die wissenschaftliche Betrachtung der Sinnesbereiche Schmecken und Riechen im Zusammenhang mit dem alltäglichem Leben, mit philosophischen Reflektionen und literarischen Beschreibungen kurzweilig, informativ und anregend darzustellen; für alle wissenschaftlich und kulturell Interessierten liefert sein Buch eine sehr empfehlenswerte Lektüre.

Uwe Mortensen, Münster

Geschmack und Geruch.

Faszinierende Sinne – Funktion, Psychologie, Philosophie, Literatur, Alltag. Wolfgang Skrandies, Springer, Berlin, 2024, 246 S., 19,99 Euro, ISBN 978-3-662-68747-5.

ÖKOLOGIE

Faszinierende Themenfülle



Der Wissenschaftsjournalist und Biologe Dr. Wilhelm Irsch hat sein neuestes Sachbuch „Meister der Anpassung“ genannt. Auf 227 Seiten

mit 14 Abbildungen beschreibt er beeindruckende Phänomene aus der belebten Natur, die zum einen die Anpassungsfähigkeit an widrige Umstände zeigen, aber auch auf eine mögliche technische Nutzung dieser biologischen Wirkprinzipien hinweisen sollen. Als Zielgruppe stehen damit biologisch interessierte Laien im Fokus. Jedes Kapitel hat eine thematische Klammer, die zwölfmal in der Tierwelt und zweimal in der Pflanzenwelt greift. Die einzelnen Kapitel sind thematisch voneinander weitgehend unabhängig und in sich wiederum vielschichtig. Das erste Kapitel beispielsweise handelt von Fledermäusen und Flughunden und

deckt dabei ein großes Themenspektrum von Winterruhe, Sozialverhalten, Sinnesleistungen bei der Jagd und schließlich Navigationsexperimenten ab. Weitere Kapitel beschäftigen sich mit Mäusen (Kapitel 3) oder Ameisen (Kapitel 7) oder fokussieren auf einzelne Sinne (z. B. Kapitel 9 und 10, Auditorik und Olfaktorik). Einige Kapitel schlagen sogar ganz große Bögen von Haien zu Salamandern (Kapitel 2). Nicht fehlen dürfen die Anpassungsleistungen, die Tiere durch die überbordende Präsenz des Menschen erbringen müssen, sei es im Ökosystem Stadt (Kapitel 11) oder durch die Lichtverschmutzung allerorten (Kapitel 12). Bei den Pflanzen zu guter Letzt geht es rau her, mit invasiven Arten zum einen (Kirschlorbeer, Kapitel 13) und karnivoren Arten zum anderen (Kapitel 14).

Thematisch deckt das Buch also große Bereiche ab und kann doch nie vollständig sein. Irsch schöpft aus rund 150 Literaturstellen neuesten Datums. Und doch würde man gerne mehr über die Anpassungen im Pflanzenreich lernen – gibt es darüber doch nur zwei Kapitel – und die faszinierende Welt der Pilze ist weitgehend ausgeklammert. Als Produzent von Vorlesungen vermisst man einen Bogen, der einen durch das Buch führt. Irsch setzt den Leser ohne einleitende Worte unmittelbar dem ersten Kapitel aus und man wandert von kürzeren zu längeren Beschreibungen und nähert sich dem jeweiligen Themenblock an. Jedes Kapitel ist aufs Neue eine kleine Welt für sich. Und auch in jedem Kapitel öffnen sich viele neue Türen, die die Vielfalt an Phänomenen selbst in einer einzelnen Gattung verdeutlichen.

In der Tat fordert Irsch den Leser auf, sich selbst auf die Suche zu machen, sich ablenken zu lassen und eigene Schwerpunkte beim Lesen zu setzen. Wie ein streunender Sammler ist man unterwegs, lässt sich treiben, um zu finden, ohne zu wissen, was man gesucht hat. Die Natur ist eben ungeordnet

und chaotisch, aber halt auch voller faszinierender Entdeckungen und definitiv ein Meister im Anpassen.

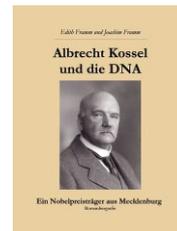
Tobias Seidl, Bionik-Institut, Westfälische Hochschule, Bocholt

Meister der Anpassung.

Die erstaunlichsten Überlebensstrategien der Tier- und Pflanzenwelt. Kuriose Erkenntnisse aus der Wissenschaft. Wilhelm Irsch, Oekom-Verlag, München, 2024, 258 S., 24 Euro, ISBN 978-3-98726-123-7.

BIOGRAFIE

Nobelpreisträger aus Mecklenburg



Die Eheleute Edith und Joachim Framm, die in medizinischen Berufen tätig waren und ihre Heimat Mecklenburg lieben, haben

in einem Buch, das sie als „Romanbiografie“ bezeichnen, die Geschichte erzählt, die „Albrecht Kossel und die DNA“ verbindet. Der 1853 in Rostock geborene Biochemiker Kossel ist 1927 in Heidelberg gestorben, hat also zu einer Zeit gelebt und gearbeitet, als die drei Buchstaben DNA noch nicht zum Wortschatz der Allgemeinheit gehörten und man Sätze wie die neulich im Radio zu hörende Behauptung eines jungen Mannes, „die Nachhaltigkeit ist in meiner DNA“, nicht einmal im Ansatz hätte verstehen können und schulterzuckend hätte vorbeirauschen lassen müssen. Die Abkürzung DNA erfasst die chemische Struktur der Erbsubstanz in den Zellen, und sie hat ihren wissenschaftlichen und medialen Siegeszug in den 1950er Jahren begonnen – wobei man genauer die Jahreszahl 1953 nennen kann, als das Duo aus James D. Watson und Francis Crick ein als Doppelhelix berühmt gewor-

denes Modell für die Gene vorgeschlagen hat, mit dessen Hilfe die moderne Molekularbiologie ihren unvergleichlichen Siegeszug antreten konnte.

Als Albrecht Kossel sich im 19. Jahrhundert mit dem Stoff, aus dem nach heutigem Wissen die Gene bestehen, zu beschäftigen begann, kümmerte sich nur eine Minderheit um die Chemie des Zellkerns, und selbst großen Forschern kam es unwahrscheinlich vor, dass ihre biochemischen Analysen eines Tages „das Geheimnis der Vererbung lüften“ würden, wie das Autorenduo seinen Helden Kossel träumen lässt. Es galt Fleiß und Disziplin an den Tag zu legen und so genau wie möglich zu bestimmen, welche Substanzen etwa in Hefezellen oder im Gänseblut auffindig zu machen waren, wobei sich Kossel bei seinen Analysen immer mehr auf den Stoff konzentrierte, der reichlich in Zellkernen vorhanden zu sein schien. Dieser wurde nach dem lateinischen *Nucleus* Nuclein genannt, woraus später Nuklein wurde. Kossel studierte und forschte in Rostock und Straßburg, und 1881 konnte er dort seine Habilitationsschrift mit dem Titel „Die Nucleine und ihre Spaltprodukte“ vorlegen, mit der die biochemische Erkundung der Erbsubstanz DNA allmählich die wissenschaftliche Richtung einschlug, die im 20. Jahrhundert Triumphe feiern, das öffentliche Interesse auslösen und zur Großforschung werden konnte.

Zu Kossels Lebzeiten ging es ruhiger als heute in den Forschungseinrichtungen zu, wobei man bei der Lektüre der Romanbiografie darüber staunen kann, wie unbeirrt Kossel und seine Lehrer – zum Beispiel der berühmte Felix Hoppe-Seyler – ihren Weg gehen und alles herauszufinden versuchen, was sich herausfinden lässt. Da will man nicht ein bestimmtes Ziel erreichen, sondern vor allem das Wissen erwerben, das mit den verfügbaren Instrumenten gewonnen werden kann, auch wenn die Öffentlichkeit kaum Notiz von Kossels heute als so wich-

tig erkannten Ergebnissen nimmt und der Forscher selbst in dem Moment, in dem er sein Ergebnis vor Augen hat, die Bedeutung nicht in vollem Umfang ermessen kann.

Die Romanbiografie über „Albrecht Kossel und die DNA“ führt vergnüglich und lesbar vor, wie die als Pioniere tätigen Forscher in der Überzeugung arbeiteten, dass ihre Wissenschaft der ganzen Welt gehört und sie sich weder für Geld noch für die Ehre plagten, sondern vor allem, weil die Arbeit ihnen Freude machte und ihre unersättliche Neugierde befriedigen konnte.

Bei solch einem Antrieb können bei ausreichender Qualität Ehrungen nicht ausbleiben, und als Kossel Professor in Heidelberg war, erreichte ihn am 24. Oktober 1910 ein Brief aus Stockholm. Ihm wurde der Nobelpreis für Medizin zuerkannt, weil durch seine Arbeiten „die Kenntnisse der Chemie der Zelle in herausragender Weise befördert wurden“, wie zu lesen war, bevor der Geldbetrag von 156.000 Mark genannt wurde, der mit zu der Auszeichnung gehörte.

Nach diesem Höhepunkt folgten bald unruhige Weltkriegsjahre, in denen Kossel sich weiter seinen biochemischen Forschungen widmen konnte, wie die Romanbiografie ausführt (die auch von seiner Ehe und seinen Kindern erzählt). Als der große Wissenschaftler starb, wurde er als Mensch gewürdigt, „dessen Güte und innere Ausgeglichenheit, dessen Wahrhaftigkeit und Pflichtgefühl schlechthin vollkommen waren.“ Seine wissenschaftliche Leistung verdankte sich seiner seelischen Kraft, wie gesagt wurde, und man wünschte sich heute, so etwas über zeitgenössische Biochemiker schreiben zu können.

Ernst Peter Fischer, Heidelberg

Albrecht Kossel und die DNA.

Ein Nobelpreisträger aus Mecklenburg. Edith und Joachim Framm, Edith Framm, Wismar, 2024, 175 S., 9,75 Euro, ISBN 978-3-94421-164-0.

ÖKOLOGIE

Tierische (Über-)lebenskünstler



Warum haben Maulwürfe sechs Finger und Eisfische weißes Blut? Warum erkranken Nacktmulle nicht an Krebs und war-

um kann ein Axolotl ein verlorenes Bein nachbauen, wir aber nicht? Russ Hodge erzählt 14 Geschichten über 14 „seltsame Tiere“ und wie ihre Seltsamkeiten in kleinen Schritten aufgeklärt oder zumindest besser verstanden wurden. Zugleich erzählt er sehr persönlich die Geschichten der Wissenschaftler, die oft auf verschlungenen Wegen – durch Begegnungen mit anderen Forschern und durch glückliche Zufälle – auf diese Forschungsgebiete gekommen sind. Dabei erfährt man viel über das „Ökosystem“ der Wissenschaft: die internationale Vernetzung von Forschergruppen, die meist auf persönlichen Kontakten beruhen und wie verschiedene Labore einzelne Mosaiksteinchen zum Verständnis beitragen. Vor allem scheint immer der Enthusiasmus durch, der Wissenschaftler in unwirtliche Gebiete wie die Arktis oder den Glutofen der Wüsten treibt, um die ungewöhnlichen Eigenschaften „seltsamer Tiere“ aufzuklären. Es sind spannende Geschichten über das Zusammenreffen besonderer Menschen und besonderer Tiere.

Die Wissenschaft kommt bei den Geschichten nicht zu kurz. Russ Hodge erklärt verständlich, aber auch anspruchsvoll, wie Physiologie, Genetik und Biochemie die Anpassung an ungewöhnliche Lebensräume und extreme Umweltbedingungen ermöglicht haben. Laien können manche Abschnitte einfach überlesen, wenn es etwas zu speziell wird. Die Geschichten bleiben trotzdem anregend und informativ.

Das Buch ist als Hard-Cover-Version mit den Illustrationen von Kat Menschik liebevoll gestaltet und ein schöner Kontrast zu den eher minimalistischen Taschenbüchern.

Die persönlichen Geschichten der Wissenschaftler und ihre Forschungsarbeiten machen das Buch interessant, könnten aber teilweise etwas besser verbunden werden. Das Buch wird nicht nur Biologie-Enthusiasten begeistern; es kann junge Menschen motivieren, tiefer in die Welt der Biowissenschaften einzusteigen und es kann jedermann an die Faszination der Biologie herañführen.

Wolfgang Nellen, Kassel

Lebenskünstler.

Von frostfesten Fischen, radioaktivitätsresistenten Bärtierchen und selbstheilenden Amphibien. Russ Hodge, Kat Menschik, Verlag Galiani, Berlin, 2024, 240 S., 42 Euro, ISBN 978-3-386971-309-0.

NATURFÜHRER

Symbiosen entdecken



Andreas Gigon ist ein ausgewiesener Pflanzenökologe und Naturschutzbiologe, der lange Zeit als Professor an der Eidgenössischen Technischen Hochschule

(ETH) Zürich gelehrt hat. Sein Koautor ist Biologe, der sich als Lehrer intensiv mit der Vermittlung ökologischer Sachverhalte beschäftigt hat. Von diesen Lehrerfahrungen profi-

tiert der vorliegende Feldführer, der dem interessierten Naturbeobachter helfen soll, das Zusammenleben von Pflanzen mit unterschiedlichen Tieren zu verstehen. In der Natur geht es nicht nur darum, dass Pflanzen als Nahrung für Pflanzenfresser (Herbivore), Pilze oder Bakterien dienen. Viele Pflanzen profitieren sogar von einem engen Zusammenleben mit Tieren. Solche Gemeinschaften werden als Symbiosen bezeichnet, die in diesem reich illustrierten Sachbuch behandelt werden. Zunächst geht es um die Abgrenzung der Symbiose, bei der beide Arten von der gegenseitigen Beziehung profitieren, von der, bei der nur eine Art profitiert, die andere aber keine Vor- oder Nachteile erfährt.

Eine wichtige und weitverbreitete Symbiose ist die Beziehung zwischen Blütenpflanzen und ihren Bestäubern, bei der die Blütenpflanzen über Blütenfarben und Geruchsstoffe spezifische Insekten anlocken und durch Nektar belohnen. Je nach Blütenaufbau und Blütenchemie wird hier zwischen den Bienen-, Hummel-, Falter-, Käfer- und Fliegenblumen unterschieden. Ebenso vielfältig sind die Anpassungen von Pflanzen, um Samen und Sporen durch Tiere verbreiten zu lassen. Hier geht es um Frugivore, die von reifen Früchten angelockt werden, diese fressen und die Samen später mit dem Kot ausscheiden, aber auch um Pflanzensamen mit nahrhaften Elaiosomen (Ölkörperchen), die von Ameisen eingesammelt und so verbreitet werden.

Symbiosen betreffen aber nicht nur Pflanze-Tier-Beziehungen, sondern auch Interaktionen mit Pilzen, Bakterien und Flechten. Mykorrhizen bilden ausgedehnte Myzelnetzwerke im Wurzelbereich von Pflanzen, über die Stickstoff- und Phosphorverbindungen den Wurzeln

zugeführt werden. Als Gegenleistung wird der Pilz von der Pflanze mit Kohlenhydraten aus der Photosynthese versorgt. Die Myzelnetzwerke – auch als *Wood Wide Web* bezeichnet – sind sehr ausgedehnt und können Wurzeln unterschiedlicher Pflanzen gleichzeitig verbinden. So können Botenstoffe zwischen individuellen Pflanzen ausgetauscht werden. Auch die symbiotische Stickstofffixierung bei Fabaceen durch Knöllchenbakterien in Wurzelknöllchen gilt als eine verbreitete Symbiose. Von evolutionärer Bedeutung ist die intime Dauersymbiose zwischen Pilz, Grünalgen und Bakterien, die wir taxonomisch als Flechten bezeichnen.

Die Hauptkapitel des Naturführers sind den zwischenartlichen Symbiosen gewidmet, die ein aufmerksamer Beobachter in verschiedenen Lebensräumen entdecken kann. Es geht um Spaziergänge in der Stadtnatur, im Wald, am Waldrand, auf Dünge-, Mager- und Feuchtwiesen, auf dem Acker, an Gewässern und im Hochgebirge. Hier finden sich beeindruckende Beispiele für die großartige Vielfalt an Wechselwirkungen, die unsere Natur immer noch aufweist. Der Feldführer hilft, die Augen zu öffnen. Er ist sehr kompetent geschrieben, informativ illustriert und didaktisch gut aufgebaut. Damit ist er eine Bereicherung und enthält spannende Informationen für jeden Biologen und Naturbeobachter.

Michael Wink, Heidelberg

Symbiosen beobachten.

Feldführer für unsere Wälder, Wiesen, Äcker, Seeufer und Stadtnatur. Andreas Gigon, Felix Stauffer, Haupt-Verlag, Bern, 2024, 207 S., 28 Euro, ISBN 978-3-258-08362-9.

PARTNER DES MENSCHEN

Das Rentier: Helfer in der Arktis

Diese Hirschart ist einer der wichtigsten Fleisch- und Pelzlieferanten sowie unersetzliches Zugtier für nordische Volksstämme und deshalb in der Kultur dieser Menschen fest verankert. Bei uns ist das Ren als Zugtier für den Schlitten des Weihnachtsmannes populär geworden, der natürlich am Nordpol wohnt.



ABB. 1 Ein eurasisches Rentier – das Geweih ist immer asymmetrisch. Foto: Alexandre Buisse über Wikipedia.

Das Rentier (*Rangifer tarandus*) ist bislang die einzige Hirschart, die vom Menschen als Nutztier gehalten wird – züchterische Ziele wurden bislang kaum verfolgt. Die in Nordamerika als Karibus bekannten Herdentiere sind weltweit ein fester Bestandteil vieler indigener Kulturen des hohen Nordens. Ohne die tierischen Helfer wäre das Über-

leben in den subarktischen Zonen deutlich mühsamer.

R. tarandus gehört zu den mittelgroßen Hirschen (Familie *Cervidae*) und bewohnt die baumarmen, kalten Flachlandregionen der Nordhalbkugel (v. a. Alaska, Kanada, Grönland, Skandinavien, Nordrussland). Je nach Verbreitungsgebiet schwankt die Größe. Die Schulterhöhe beträgt 90 bis 140 Zentimeter, das Gewicht 60 bis 300 Kilogramm. Im Gegensatz zu allen anderen Hirscharten tragen bei den Rentieren auch Weibchen ein Geweih. Bei beiden Geschlechtern ist dieses stangenförmig, verzweigt und typischerweise nach vorne gebogen (Abbildung 1). Die Formgebung der Geweihe ist unregelmäßig und bei jedem Individuum unterschiedlich, aber vor allem entscheidet es über die Stellung innerhalb der Herdenhierarchie. Außerhalb der Wandersaison (Abbildung 2) bilden sich Gruppen aus meist nicht mehr als 100 Tieren, die entweder nur aus er-

wachsenen Männchen – oder bei anderen Gruppen – nur aus Weibchen bestehen. Naht der arktische Winter, finden sich die Rentiere zu riesigen Herden von bis zu 100.000 Tieren zusammen. Die Herden unternehmen saisonale Wanderungen von bis zu 5.000 km. Danach zerfällt die Riesenherde wieder in kleine Gruppen. Die Hirsche sind meist reine Grasfresser, brauchen aber im Winter auch Moose, Pilze und sogenannte Rentierflechten. Wolf, Luchs, Vielfraß und Bär jagen zwar die arktischen Hirsche, erbeuten aber meist nur kranke Tiere, die nicht so schnell laufen können.

Während der Paarungszeit im Oktober versuchen dominante Männchen möglichst viele Weibchen in einem Harem um sich zu versammeln. Die Geburt der Kälber erfolgt im Mai bis Juni, wobei die Kälber meist schon nach einer Stunde in der Lage sind, der Herde zu folgen. Besondere Anpassungen an den schneereichen Lebensraum sind neben einem hellen Winterfell besonders spreizfähige Hufe mit zusätzlichen Afterklauen, die für eine verbesserte Trittsicherheit sorgen. Ihre Nase ist stark durchblutet und heizt die eingeatmete Luft in Sekundenschnelle hoch, damit die Lunge nicht auskühlt. Außerdem können die Kälber den Wärmeverlust durch eine verbesserte Wärme-



ABB. 2 Rentierherden können täglich 20 bis 60 km zurücklegen. Foto mit freundlicher Genehmigung von Ina Reinecke.

KLICKS IM SCHNEEGESTÖBER



Damit die Herde auch bei schlechter Sicht zusammenbleibt, haben Rentiere einen eingebauten, akustischen Peilsender: Bei jedem Schritt rutscht die Sehne des Fußes über einen Knöchelvorsprung und gibt ein schnalzendes Geräusch von sich. Foto: Zoo Wuppertal.

produktion ausgleichen, die im Vergleich zu anderen Säugern bis zu fünfmal effizienter sein soll. Rentiere werden im Schnitt 12 bis 15 Jahre alt.

Rückzug nach der Kaltzeit

Während der letzten Kaltzeit reichte das Verbreitungsgebiet der Rentiere auf dem nordamerikanischen Kontinent bis an die Grenzen Mexikos und in Europa bis zu den Pyrenäen. Im Laufe der anschließenden Warmzeit zogen sich die Herden wieder nach Norden zurück. Auf den britischen Inseln starben Rentiere vor knapp 10.000 Jahren aus. Aber 1952 wurde eine Gruppe von 29 Tieren in Zentralschottland ausgewildert, die mittlerweile zu einer Herde von 130 Tieren angewachsen ist.

Schon in der Altsteinzeit haben Menschen auf Rentiere Jagd gemacht und dies in Höhlenzeichnungen festgehalten. Aber erst vor 5.000 Jahren begann in Sibirien die Haltung der Rentiere, wobei sich der Mensch meistens der Lebensweise dieser Nutztiere anpasste und nur in geringem Maße züchtete. Um 1000 v. Chr. wurde die Rentierhaltung aus Sibirien kommend in Skandinavien eingeführt. Die Hirsche lieferten den Völkern des Nordens seit jeher viele Rohstoffe, die das Überleben in den kalten Klimaten ermöglichten: Fleisch, Pelze, Leder, Geweih und Knochen. Die Suche nach immer neuen Weidegründen förderte die nomadische Lebensweise, so dass Rentiere auch für den Transport genutzt wurden: Entweder direkt als Last- und Tragetiere oder indem man sie vor einen Schlitten spannte (Abbildung 3). Noch heute ist die Lebensweise nordischer Volksgruppen wie die der Samen in Lappland von Rentieren geprägt. Und wie heutzutage jedes Kind weiß, wird auch der Schlitten des Weihnachtsmannes von – flugfähigen – Rentieren gezogen (Abbildung 4).

Von den etwa 3 Millionen Rentieren in menschlicher Obhut leben



ABB. 3 Ein Rentier zieht einen traditionellen Holzschlitten in Lappland.

Foto: Pasja über Pixabay.



ABB. 4 In Kindergeschichten können Rentiere auch fliegen.

Grafik: www.pixabay.com.

drei Viertel in Sibirien. Noch heute gibt es Menschen, die einige Monate im Jahr als Nomaden mit ihren Herden in der extrem kalten, russischen Taiga umherziehen. Die Rentierwirtschaft wird z. B. beim Volksstamm der Nomi noch traditionell mit Zelten und Schlitten betrieben. Den Hirtenfamilien sind die Tiere individuell bekannt – und das bei bis zu 3.000 Herdenmitgliedern! So bewachen die Menschen eine Herde, die sich im Umkreis von 20 bis 40 km um das Lager bewegt. Im Unterschied zu den russischen Hirten nutzen die Samen Skandinaviens aber auch Motorschlitten und Hubschrauber, um große Herden zusammenzutreiben.

Klimawandel belastet Populationen

Rentiere sind nicht nur an niedrige Temperaturen angepasst, sondern sie vertragen milde Temperaturen ungleich schlechter. Neben einer unweigerlich ansteigenden Zahl von Stechmücken macht den Hirschen auch zu schaffen, dass anstelle von Schnee häufiger Regen fällt. Gefriert dieser auf der Schneedecke, kommen die Tiere nicht mehr an ihr Futter und müssen hungern.

Zukünftig wird sich wohl die Beziehung zwischen Mensch und Rentier verändern müssen. Unsere Fürsorgepflicht sollte den arktischen Helfern auf jeden Fall zugutekommen!

*Pascal Eitner, Maisach,
pascal-eitner@arcor.de*

AUSSERSCHULISCHE LERNOORTE

Museum am Schölerberg – Die Entwicklung des Lebens bis zu städtischen Zukunftsmodellen

Nach einer ca. dreijährigen Bauzeit präsentiert sich das neu gestaltete Museum mit angegliedertem Planetarium in einer dem Zeitgeist angepassten Gestaltung. Dabei bilden „Evolution, Biodiversität, Klimawandel, Boden und Nutzung“ die Leitgedanken der einzelnen Ausstellungsebenen.

Auf ca. 1800 Quadratmetern haben die Besucher die Möglichkeit, mehr als 700 zeitgemäß gestaltete Exponate zu den fünf Ausstellungsbereichen Wasser, Wald, offenes Land, städtisches Leben und der neu

hinzugekommenen Astronomieabteilung zu erkunden. Dabei ist der als eindrucksvolles Diorama konzipierte Karbonwald mit seiner weltweit nur dreimal ausgestelltten 308 Mio. Jahre alten Sigillariawurzel (Abbildung 1)

ein Zuschauer magnet mit Lokalkolorit. Evolutive Entwicklungen werden auch in den rekonstruierten, mittels *augmented reality* wiederentdeckten Urzeittieren und im 180-Grad-Kino erlebbar. Hinzu kommt ein Landschaftsschnitt des Osnabrücker Landes, ebenfalls durch die Dioramatechnik erlebbar gemacht.

Im Eingangsbereich durchwandert man zunächst einen Planetenweg (Abbildung 2) Richtung Planetarium im Untergeschoß. Dort geht es um aquatische Ökosysteme und ihre versteinerten Zeitzeugen (Abbildung 3). Viele Erkundungsmöglichkeiten bietet anschließend der begehbare Ausschnitt durch ein Modell-Waldökosystem (Abbildung 4) mit einigen charakteristi-



ABB. 1 Diarama eines Karbonwalds (a) mit einer versteinerten Sigillaria-wurzel (b). Alle Fotos: Christiane Högermann.



ABB. 2 Planetenweg im Eingangsbereich.



ABB. 3 Versteinerte Schätze aus aquatischen Ökosystemen.



ABB. 4 Begehbarer Ausschnitt eines Modell-Waldökosystems.

schen Tieren. Exponate und Simulationen aus dem Bereich „Stadtökologie“ stellen einen weiteren



ABB. 5 Simulation urbanen Lebens zum Thema „Verkehr und Mobilität“.

attraktiven Ausstellungsbereich dar, der wie alle Stationen auch viele „Arbeitsplätze“ für „Jung und Alt“, spannende, lehrreiche Simulationen und Mitmachmöglichkeiten bietet – hier zum Beispiel zum Thema „Verkehr und Mobilität“ (Abbildung 5). Der gesamte Rundgang ist angenehm geradlinig strukturiert und vollständig behindertengerecht zugänglich.

Dem Museumsgebäude ist ein Umweltbildungszentrum angegliedert. Sowohl hier als auch im Natur-

kundemuseum und Planetarium werden pädagogische Programme und regelmäßig Sonderveranstaltungen angeboten. Informationen rund um die drei Einrichtungen finden sich unter www.museum-am-schoelerberg.de und info@museum-am-schoelerberg.de.

*Christiane Högermann,
Osnabrück*

BIO-HIGHLIGHTS

Alles Banane ...



Foto: Darkkone über Wikipedia

Die Cavendish-Banane¹ ist vermutlich die beliebteste Frucht der Welt. Seit Jahren weiß man, dass sie wohl sehr bald wegen Infektion mit *Fusarium oxysporum* TR4 aussterben wird. Zurzeit können die Plantagen noch mit großen Mengen an Fungiziden halbwegs überleben. In Australien wurde jetzt mit QCAV-4 die erste gentechnisch modifizierte, TR4-resistente Cavendish zugelassen. Sie enthält das vollständige RGA2-Gen aus einer wilden Banane, das in der Cavendish-Banane nur in inaktivem Zustand vorliegt. In einer neuen Versuchsreihe wird zurzeit das inaktive RGA2-Gen mit Hilfe von CRISPR-Cas reaktiviert. Diese Variante würde in Australien nicht als gentechnisch verändert gelten; in Europa müssten beide Varianten als GVO (Gentechnisch veränderter Organismus) gekennzeichnet werden. <https://t1p.de/9w4z3>, <https://t1p.de/2wur2>, <https://t1p.de/4em7y> (Paywall)

¹ Mehr zu dieser Problematik finden Sie in unserem Beitrag „CRISPR-Cas für eine nachhaltigere Landwirtschaft“ im Biuz-Sonderheft „CRISPR-Cas - mehr als nur Verteidigung“, das kostenlos unter www.vbio.de/biuz-crispr zugänglich ist.

Roadkills

Die Universität Innsbruck hat eine ungewöhnliche Methode zum Monitoring der Biodiversität „erfunden“: Insektenreste werden von der Windschutzscheibe von Linienbussen abgekratzt, die DNA wird isoliert und das Metagenom des „Roadkills“ aufgenommen. Daraus können alle Insekten, die auf der Scheibe gelandet sind, identifiziert werden. Obwohl nur Fluginsekten erfasst werden, hat diese einfache Methode gewaltige Vorteile: Das arbeitsintensive Aufstellen und Beprobieren von Fallen entfällt, verschiedene Habitate entlang einer Buslinie (Stadtverkehr, Überlandverkehr etc.) können reproduzierbar zu verschiedenen Jahreszeiten untersucht werden und einen Langzeitüberblick über die Entwicklung von Insektenpopulationen liefern. <https://t1p.de/ftfwx>



Beim Insekten-Busmonitoring werden Hunderte Arten von Fluginsekten auffindig gemacht, darunter die Hainschwebfliege. Foto: Universität Innsbruck/Marjana Ljubisavljevic



MIKROBEN VERSTEHEN

Auch Mikroben altern

Nicht alle Mikroben, die aus einer Zellteilung hervorgehen, teilen sich erneut. In natürlichen Ökosystemen können sie stattdessen auch Teil der Nahrungskette werden, eine Phageninfektion erleiden und lysieren, durch Nährstoff- und Energiemangel eingehen oder einfach altern, dabei ihre Fitness einbüßen und schließlich sterben. Alterungsprozesse begleiten Prokaryoten seit der Entstehung der ersten Zellen – und führen neben der Teilung zum anderen natürlichen Ende eines individuellen Mikrobenlebens.

Wenn wir den Verlauf des Alterns betrachten, haben wir meist uns selbst oder größere Lebewesen im Blick. Letztlich altern jedoch die Zellen eines Organismus, indem ihre Leistungsfähigkeit abnimmt, was das Zusammenspiel zwischen ihnen, etwa in Geweben und Organen, beeinträchtigt. Alterungsprozesse werden deshalb auch an Zellkulturen und einzelligen Hefen (*Saccharomyces*) als Modellorganismen studiert [1], wobei der Eindruck entstehen kann, dass Alterung ein spezifisches Phänomen der Eukaryoten ist. Einschränkungen durch Leistungsrückgang (interne Ursachen) und Schädigung (externe Einflüsse) zellulärer und molekularer Funktionen, die sich mit zunehmendem Alter anhäufen, betreffen aber

grundsätzlich alle lebenden Zellen – auch Mikroorganismen [2]. Und diese hatten sich bereits in etwa 1,5 Milliarden Jahren Evolution mit den Folgen des Alterns und der Degeneration auseinandergesetzt, ehe aus Prokaryoten eukaryotische Zellen hervorgingen. Wie sieht Altern also bei Mikroben aus und wie gelingt es ihnen, ein mitunter sehr langes Leben zu führen [3]?

Altern Bakterien, die sich schon nach Minuten teilen?

Das Modellbakterium *E. coli* lieferte lange ein vermeintliches Beispiel für Zellen, die nicht altern. Die Mikroben leben im Labor nur 20 Minuten als Individuen, um sich dann jeweils symmetrisch in zwei gleiche Nachkommen zu teilen, die einen wieder-

kehrenden Lebensverlauf versprechen. Eine morphologisch symmetrische Teilung mündet aber keineswegs in identische Tochterzellen [2, 4]. So unterscheiden sich die beiden Zellpole des stäbchenförmigen Bakteriums in ihrem Alter; ein Pol entstand durch die vorangegangene Teilung neu, der andere ist mindestens um eine Teilungsperiode älter. Die ungleichen Historien der Zellpole führen im Laufe der weiteren Vermehrung zu einer heterogenen Altersstruktur in der Population (Abbildung 1) [4]. Sie äußert sich entsprechend im Status der Makromoleküle in und an der polaren Membran und Zellwand, da diese Moleküle während einer (kurzen) Generationszeit nicht oder nicht vollständig erneuert werden [5, 6]. Nach einigen Vermehrungszyklen bilden sich auf diese Weise unterschiedlich „gealterte“ Individuen, deren Fitness voneinander abweicht, was man auch experimentell beobachtet. Über neun Generationen verfolgte Individuen von *E. coli* zeigten bei Vergleichen, dass Zellen mit älteren Polen längere Generationszeiten, eine geringere Zelllänge, weniger Masse und eine höhere Sterbewahrscheinlichkeit aufweisen [4]. In einer weiteren Untersuchung

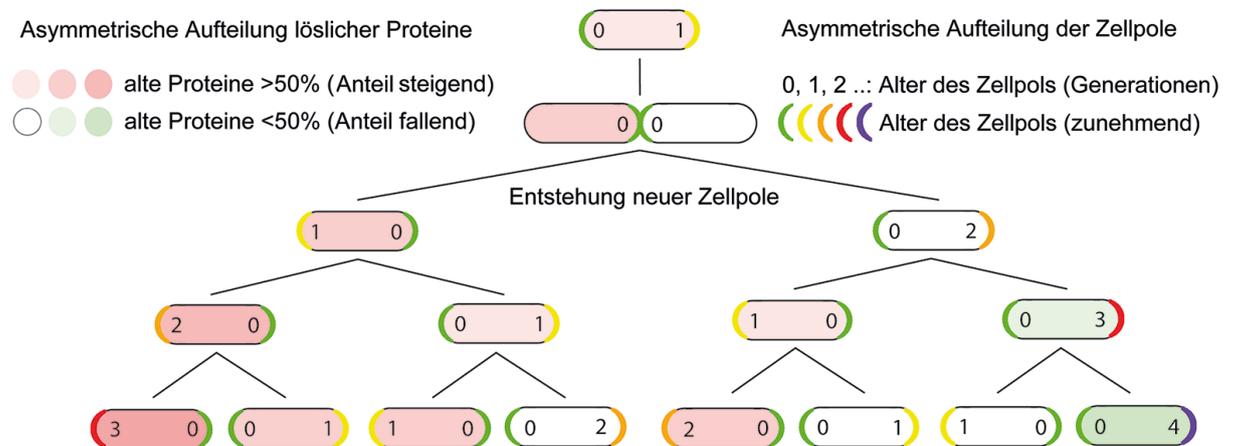


ABB. 1 Schematisches Beispiel für Alterungseffekte in teilungsaktiven Mikroben. Durch morphologisch symmetrische Teilungen entsteht eine asymmetrische Altersverteilung von Zellpolen und eine zufällige Ungleichverteilung von alten ererbten und während des Wachstums neu gebildeten (löslichen) Proteinen. Eine Population enthält immer ein Gemisch unterschiedlich gealterter Zellen mit entsprechend verschiedener Fitness, Teilungsrate und Überlebenswahrscheinlichkeit. Werden gealterte Makromoleküle asymmetrisch an die Nachfolgeneration weitergegeben, so kann in Teilen der Population ein Verjüngungseffekt entstehen (weiße und grüne Zellen). Die Alterskombination löslicher Proteine mit Zellpolen ist hier willkürlich gewählt. Darstellung in Anlehnung an [2, 4].

fand man, dass funktionslose (schadhafte) Proteine in Aggregaten (*inclusion bodies*) abgelagert werden und diese vor der Teilung bevorzugt in die Region des alten Zellpols segregieren. Solche Tochterzellen wiesen eine über 30 Prozent geringere Wachstumsrate auf und somit einen deutlichen Alterungseffekt. Umgekehrt wuchsen Tochterzellen mit jüngerem Pol und ohne geerbtem Proteinaggregat schneller als die Mutterzelle mit Einschlusskörper und profitierten von einem Verjüngungseffekt [6].

Ähnliches gilt für lösliche, nicht in Aggregaten entsorgte Makromoleküle. Jede Zelle enthält unmittelbar nach ihrer Entstehung alte Proteinkomplexe (teils mit zufällig erworbenen Fehlern), die sie während des Wachstums bis zu ihrer eigenen Teilung durch neu synthetisierte ergänzt und teilweise ersetzt. Ihre Tochterzellen erhalten dann jeweils ein Gemisch unterschiedlich alter Proteine, die aber nicht zwingend die exakt gleiche Altersverteilung aufweisen (Abbildung 1) [2, 7]. Dies gilt umso mehr für Mikroben mit sichtbar asymmetrischer Teilung wie bei *Caulobacter crescentus* [8], asymmetrischem polarem Wachstum bei Mycobakterien [9] oder Sprossung, die bei Planctomyceten vorkommt [2, 10]. In Mikroben manifestiert sich ein Alterungsprozess also im Laufe (kurzfristig) wiederholter, biochemisch asymmetrischer Teilun-

gen durch zufällig oder bevorzugt ungleiche Anhäufung schadhafter Zellbestandteile, die überwiegend aus dem Stoffwechsel- und Synthesegeschichten der wachsenden Zellen herrühren (Aggregate) oder über den Teilungsprozess entstehen (Zellpole) [2]. Die betroffenen Individuen büßen mit zunehmendem „Alter“ an Leistungsfähigkeit ein und reduzieren die durchschnittliche Fitness der Population [7]. Die Verteilung nachteiliger Mutationen weicht davon ab, letztere werden strenger systematisch an die Nachfolgegenerationen vererbt.

Altern langlebige Mikroben?

Mikroben können Alterung durch aktiven Stoffwechsel und rasch aufeinanderfolgende Teilungen mit dabei entstehenden Fehlern deutlich hinauszögern, indem sie ihre Generationszeit ausdehnen [2]. Diese „Strategie“ verfolgen Mikroben notwendigerweise, die in nahrungs- und energielimitierten Ökosystemen leben und sich daran angepasst haben. Ihre Stoffwechselrate kann bis zu einem Faktor 10⁶ geringer ausfallen als die von Laborkulturen [11]. Während einzelne, durch externe Effekte erworbene Schädigungen von Makromolekülen während eines relativ kurzen Mikrobenlebens sich nicht drastisch bemerkbar machen müssen, sollten sie sich dagegen im Laufe lange währender Generationszeiten anhäufen und die Seneszenz

der Zellen fördern. Meist ist dann eine ganze Population betroffen wie etwa bei den langlebigen Organismen der tiefen marinen Sedimente [3]. Physikalisch-chemische Einflüsse durch ionisierende Strahlung, Molekülradikale, Hitze (und später Oxidationsstress) sowie interne biochemische Vorgänge wie Fehlfaltung und Ansammlung funktionsloser Proteine und Molekülfragmente wirkten bereits auf die Fitness von Mikroben, nachdem sie aus den ersten lebenden Systemen entstanden und später sich ändernden ökologischen Bedingungen ausgesetzt waren. Alle Zellen erfuhren von Anbeginn an den Selektionsdruck, die negative Wirkung molekularer Schäden abwenden zu müssen. Im Laufe der mikrobiellen Evolution entstanden verschiedenste Eigenschaften und enzymatische Reparatursysteme, die die Degeneration insbesondere von DNA und Proteinen vermindern oder beseitigen. Sie sind so umfangreich, um sie hier ausführlicher betrachten zu können (Beispiele in Tabelle 1). Sie bewirken oder tragen zumindest entscheidend dazu bei, dass individuelle Mikroben in energie- und nährstofflimitierten Ökosystemen Jahre oder gar viele Jahrzehnte überdauern können und lebensfähig bleiben [3]. Gleichwohl kennt man heute keine Mikroorganismen, die nicht altern würden. Frühere Vermutungen, die dies Bakterien mit symmetrischer

TAB 1. MIKROBIELLE FUNKTIONEN UND SYSTEME ZUR ABWENDUNG VON ZELLSCHÄDEN

Eigenschaft / System	Funktion / Wirkung	Beispiele / Vorkommen
Dauerformen	inaktive Zustandsform ohne Stoffwechsel (Sporen)	Bacillaceae
Ruhezustand	minimaler Stoffwechsel, minimale Fehlfunktionen	im Tiefseesediment
lange Generationszeiten	Minimierung wachstums- und teilungsbedingter Fehler	im Tiefseesediment
Minizellen	vermehrungsunfähige Zellabschnürungen zur Entsorgung schadhafter oder toxischer Moleküle (Aggregate)	<i>E. coli</i>
Einschlusskörper	Entsorgung funktionsloser Proteinaggregate in alte Tochterzellen durch asymmetrische Teilung	<i>E. coli</i>
Oligo-/Polyploidie	mehrfache DNA-Kopien zur Reparaturfähigkeit multipler DNA-Brüche für langfristigen Genomerhalt	Haloarchaea
diverse Nukleasen	Reparatur verschiedener DNA-Schäden und Korrektur von Nukleotidaustauschen	verbreitet
Endoproteasen	Enzyme zum Abbau und Recycling fehlerhafter Proteine	verbreitet
Chaperone/ Chaperonine	Proteine zur Vermeidung von Proteinfehlfaltungen und Enzyme zur Korrektur fehlgefalteter Proteine	verbreitet
(enzymatische) Antioxidantien	Vermeidung und Reparatur von Molekülveränderungen	verbreitet

Teilung zugeschrieben [12], haben sich nicht bestätigt (siehe oben). Und es besteht offenbar kein evolutionärer Vorteil darin, Alterungsprozesse um den Preis beliebig großen Aufwands völlig zu verhindern [2]. Wenn Mikroben nicht ein Ende durch Eingang in die Nahrungskette, durch Phageninfektion, Verhungern, Hitze, Vergiftung, Antibiotika oder sonstige Vorkommnisse ereilt, sterben sie – mitunter erst in sehr hohem Alter – eines natürlichen Todes.

Harald Engelhardt, Martinsried

Literatur

- [1] A. Schulze et al. (2024). *Meth. Cell Biol.* 181, 87–108, <https://doi.org/10.1016/bs.mcb.2022.09.006>
- [2] R. Z. Moger-Reischer, J. T. Lennon (2019). *Nat. Rev. Microbiol.* 17, 679–690, <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0253-y>
- [3] H. Engelhardt (2024). *Biologie in unserer Zeit* 54, 394–395.
- [4] E. J. Stewart et al. (2005) *Plos Biol.* 3, <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0030045>
- [5] M. A. de Pedro et al. (1997). *J. Bacteriol.* 179, 2823–2834.
- [6] A. B. Lindner (2008), *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105, 3076–3081, <https://doi.org/10.1073/pnas.0708931105>
- [7] L. Chao et al. (2016). *PLOS Comp. Biol.* 12, <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1004700>
- [8] M. Ackermann et al. (2003). *Science* 300, 1998, <https://doi.org/10.1126/science.1083532>
- [9] B. B. Aldridge et al. (2012). *Science* 335, 100–104, <https://doi.org/10.1126/science.1216166>
- [10] S. Wiegand et al. (2020). *Nat. Microbiol.* 5, 126–140, <https://doi.org/10.1038/s41564-019-0588-1>
- [11] T. M. Hoehler, B. B. Jørgensen (2013). *Nat. Rev. Microbiol.* 11, 83–94, <https://doi.org/10.1038/nrmicro2939>
- [12] T. Nyström (2002). *Curr. Opin. Microbiol.* 5, 596–601.

Bewerbung ist weiterhin möglich

- ➔ **Du magst die „Biologie in unserer Zeit“ (BiuZ)?**
- ➔ **Du hast Spaß an biowissenschaftlichen Themen?**
- ➔ **Du bist kommunikativ und organisierst gerne?**

Bewirb Dich als studentisches Mitglied im Editorial Board der BiuZ!

Was kommt auf Dich zu?

- ➔ Du nimmst pro Jahr an zwei Treffen des BiuZ-Kuratoriums teil (davon eine Präsenzsitzung).
- ➔ Du beteiligst dich an der Themenfindung und bringst eigene Ideen ein.
- ➔ Zusammen mit anderen Studierenden koordinierst Du die studentischen Beiträge für die Ausgabe 3 – die besondere BiuZ zum Start des Wintersemesters.

Deine Bewerbung

...schickst Du bitte **bis zum 1. Februar 2025** an den Chief Editor der BiuZ, Prof. Dr. Wolfgang Nellen (w.nellen@biowisskomm.de). Deine Bewerbung sollte einen kurzen Lebenslauf und ein Motivationsschreiben enthalten. Überzeuge uns, warum wir Dich auswählen sollten. Vielleicht hast Du ja schon erste Ideen für die Weiterentwicklung der BiuZ?

