

Mikroben sind faszinierend, wecken aber bei vielen Menschen Berührungängste – vielleicht auch, weil wir noch immer zu wenig über sie wissen. Einen Versuch, dies zu ändern unternimmt unserer Kurator Harald Engelhardt mit der neuen Serie „Mikroben verstehen“.

MIKROBEN VERSTEHEN

Wie viele Mikrobenarten gibt es? (Teil 2)

Die Schätzungen der Artenzahl von Mikroben gehen von bisherigen, meist genetischen Artennachweisen aus und versuchen, die Häufigkeiten in lokalen Proben auf das globale Vorkommen zu erweitern. Dafür fand man verschiedene Ansätze. Die Hochrechnung aus kumulativ ausgewerteten Proben erwartet einige Millionen Mikrobenarten (siehe Teil 1 [1]). Hier werden Überlegungen und Modelle vorgestellt, deren Prognosen weitaus höher liegen.

Eukaryoten werden schon lange systematisch erfasst. Mora und Koautoren [2] haben die Anzahl der Taxa (Phyla, Klassen, Ordnungen, Familien, Gattungen) seit Beginn ihrer Zählung (ca. 1750) kumulativ gegen die Zeit aufgetragen und finden, dass die Kurven der höheren Taxa deutlich Grenzwerten zustreben. Bei Gattungen deutet sich ein Abflachen an, aber für Spezies lässt sich ein Maximalwert so nicht ermitteln. Werden die Grenzwerte doppelt logarithmiert und als Funktion der Ordnungsnummer des taxonomischen Niveaus aufgetragen, so ergibt sich ein linearer Zusammenhang, aus dem die Autoren die Anzahl der Spezies ableiten [2]. Kontrollen mit eukaryotischen Untergruppen, deren Arten fast vollständig erfasst sein dürften, stimmen gut mit den ermittelten Vorhersagen überein. Das empirische Verfahren schätzt die Zahl aller eukaryotischen Arten demnach auf 7,5–10 Millionen, bei etwa 1,5 Millionen bisher beschriebener Spezies.

Für Prokaryoten waren zur Zeit der Studie die Häufigkeiten nicht auswertbar. Trotzdem lässt sich aus dem eukaryotischen Artenreichtum eine einfache Überlegung auch für Mikroben anstellen (die uns schon zu Studienzeiten bewegte). Jedes Lebewesen besitzt sein eigenes Mikrobiom, welches sich aus mehreren hundert Arten zusammensetzen kann. So finden sich beispielsweise beim Menschen [3] über, bei Schaben [4] und beim Lebermoos [5] jeweils um tausend verschiedene Mikroben. Wenn jede Eukaryotenart

nur einen Mikroorganismus beherbergt, der ausschließlich bei ihr beheimatet ist, dann kommen bereits $\approx 10^7$ verschiedene Arten in Mikrobiomen vor, ungeachtet nicht fest assoziierter und gänzlich freilebender Bakterien und Archaeen.

Mehr Symbionten als freilebende Mikroben?

Larsen und Koautoren [6] gehen in ihrer Berechnung ebenso von dem Gedanken symbiontischer Vielfalt aus und schätzen zunächst die Zahl aller Arthropoden ohne Milben auf das Sechsfache der konservativ prognostizierten Arten von etwa 6,8 Millionen. Denn die morphologisch kryptischen, d. h. überwiegend nur genetisch differenzierbaren Arten werden mit klassischen Methoden nicht erfasst. Die Autoren vermuten demnach $\approx 40 \cdot 10^6$ Spezi-

es. Weiterhin rechnen sie mit einer spezifisch parasitischen Milbe für jede der Arten, wobei alle Arthropoden noch von je einer individuellen Nematodenart besiedelt werden, also insgesamt mit $\approx 160 \cdot 10^6$ verschiedenen Spezies (Abbildung 1). Aus Mikrobiomstudien nahe verwandter Insekten leiten die Autoren einen mittleren Wert von 10,7 eigenen Bakterienarten pro Arthropoden-(Milben- und Nematoden-)Art ab und ermitteln so einen symbiontischen Reichtum von etwa $1,7 \cdot 10^9$ Mikrobenpezies (ohne Archaeen, deren Anteil sie als gering erachten). Aus der Kombination von jeweils Minimal- bzw. Maximalannahmen ergibt sich eine Spannweite von 0,15 bis $5,3 \cdot 10^9$ Arten. Freilebende Mikroben und spezifische Mikroorganismen aller anderen Tiere, Pflanzen, Pilze und Protisten müssten noch hinzugerechnet werden; sie sollten nach dieser Studie aber eher einen kleineren Anteil ausmachen. Die Autoren begründen ihre Annahmen im Einzelnen [6], doch bleiben die hier jeweils vorausgesetzten originären Lebensgemeinschaften zunächst hypothetisch.

Von Individuen zu Arten

Die Autoren Locey und Lennon [7, 8] gehen bei ihrer Abschätzung von einem allgemeinen Skalierungs-

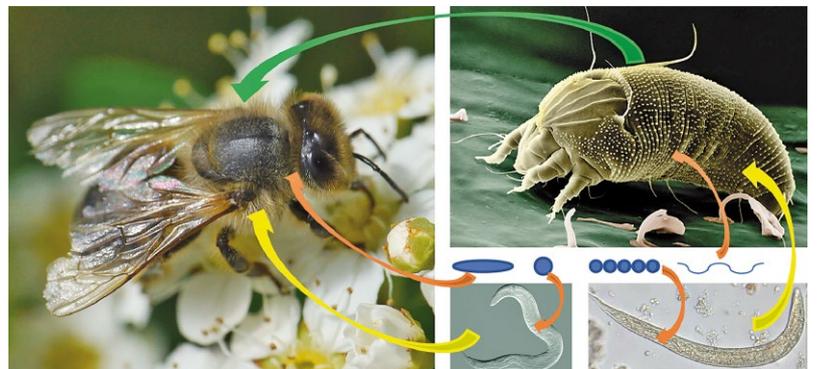


ABB. 1 Illustration spezifischer Lebensgemeinschaften von Arthropoden mit Milben, Nematoden und Bakterien (blaue Zellsymbole) nach Larsen et al. [6], die pro Arthropodenart zu multiplen originären Symbiosen mit Mikroben führen und deren wesentlichen Artenreichtum in der Biosphäre ausmachen sollen. Fotos: Fliege (H. Engelhardt), Milbe (E. Erbe, <https://de.wikipedia.org/wiki/Milben>), Nematoden (B. Goldstein gemäß CC-BY-SA 3.0 und R.Y.W. Kouassi et al. gemäß CC-BY 4.0, <https://en.wikipedia.org/wiki/Nematode>). Abbildungen nicht maßstabsgerecht.

gesetz aus, das einen Zusammenhang zwischen Gesamtindividuenzahl N und Speziesreichtum S (*richness*) herstellt:

$S = k \cdot N^z$ (mit $k > 0$ und $0 < z < 1$), wobei nach theoretischer und empirischer Einsicht der Exponent Werte von etwa $0,25 \leq z \leq 0,5$ annehmen sollte. Ähnliche Skalierungsgesetze gelten offenbar auch für weitere Häufigkeitsmerkmale. Die Autoren haben den Zusammenhang von N mit der Verteilung der Individuenzahl auf seltene (*rarity*), ähnlich häufige (*evenness*) und der absolut häufigsten (*dominance*) Spezies in Habitaten untersucht und dazu Daten für Mikroorganismen (Bakterien, Archaeen, mikroskopische Pilze) aus ≈ 20.000 Probenstellen und für Eukaryoten (Bäume, Vögel, andere Tiere) aus ≈ 15.000 Orten analysiert [7]. Wesentliche Ergebnisse besagen, dass (a) selten beobachtete Spezies mit geringen Individuenzahlen auftreten, (b) die häufigste Art nahe an die Gesamtzahl N aller Individuen in einer Probe heranreicht, und dass Arten mit ähnlichen Individuenhäufigkeiten umso häufiger vorkommen, je geringer die Gesamtzahl N in Proben ist. Dabei zeigt sich eine stärkere Ausprägung des Zusammenhangs für *rarity* und *evenness* bei Mikro- verglichen zu Makroorganismen. Die Autoren folgern daraus, dass gerade kleinere Habitate und deshalb mit geringerer Wahrscheinlichkeit beprobte Vorkommen in der Summe einen großen Beitrag zur mikrobiellen Diversität ausmachen [1, 7, 8]. Neben den Mikroorganismen sind die Mikrobengesellschaften ökologischer (Mikro-)Habitate offenbar eine weitere Quelle für Mikrobenvielfalt.

Wendet man das empirische Skalierungsgesetz zur Ermittlung des globalen Speziesreichtums an, so kommt man auf $\geq 10^{11}$ Mikroorganismenarten [7]. Dabei liegen zwischen in Proben gezählten und weltweit vermuteten Individuen ($N \approx 10^{30}$) aber über 20 Größenordnungen, was die Kalkulation gewagt erscheinen lässt. Die Autoren nutzen des-

TAB 1. ANZAHL BEKANNTER MIKROBENARTEN UND SCHÄTZUNGEN IHRER GESAMTZAHL

Quelle	Anzahl der Arten/OTUs ^{*)}	Referenz
klassifiziert:		
gültig beschriebene und benannte Arten	17 100 ^{#)}	[11]
beschriebene und benannte Arten	20 600 ^{#)}	[11]
geschätzt:		
Information des Umweltbundesamts (keine eigene Analyse)	$< 10^6$	[12]
aus 16S-rRNA-Teilsequenzen (V4-Region)	min $1 - 2 \cdot 10^6$ max $3 - 9 \cdot 10^6$	[13]
Census aus 16S-rRNA-Sequenzen	$\leq 10^7$	[10, 14]
Symbiotische Bakterien von Arthropoden inkl. ihrer spezifischen Milben und Nematoden	min $1,5 \cdot 10^8$ max $5,3 \cdot 10^9$	[6]
empirisches Skalierungsgesetz von beobachteter Individuenzahl zu Artenzahl	min $4 \cdot 10^{11}$ max $3 \cdot 10^{12}$	[7, 8]

^{*)} operational taxonomic units ^{#)} Anzahl gerundet

halb eine weitere Gesetzmäßigkeit, welche die Artenzahl aus einem Verteilungszusammenhang der absoluten Individuenzahl N und der Individuenzahl n_{\max} der häufigsten Art ermittelt [9]. Die Schätzung sagt danach einen globalen Mikrobenreichtum zwischen 10^{11} und 10^{12} Arten voraus, je nach Wertebereich der eingesetzten Parameter und in ungefährer Übereinstimmung mit der Vorhersage des Skalierungsgesetzes. Es ist aus der Studie nicht ersichtlich, welchen Anteil Prokaryoten und miterfasste eukaryotische Mikroorganismen (Pilze) jeweils einnehmen. Sollten Prokaryoten auch nur ein Drittel der Gesamtmenge ausmachen, so würde es die Größenordnung nicht schmälern (Tabelle 1).

Und wie viele mikrobielle Arten gibt es nun?

Die Frage nach der Artenzahl wird die Mikrobiologie noch weiter beschäftigen, denn die Größenordnung bleibt gegenwärtig umstritten [8, 10]. Die betrachteten Studien lassen aber eine Tendenz erkennen:

(1) Schätzungen, die auf der Extrapolation kumulativer Artenfunde beruhen, erfassen regional begrenzte Habitate in selten untersuchten Lebensräumen nur ungenügend [8]. Die prognostizierte

Grenze von $\leq 10^7$ Arten ist deshalb wohl zu niedrig [1].

(2) Die Überlegungen zum Artenreichtum symbiotischer Mikroben hängen von der Annahme ab, dass jede Eukaryotenart n individuelle Symbionten besitzt ($n \geq 1$), was möglich, aber noch nicht gesichert ist. Die geschätzte Artenzahl der Eukaryoten, insbesondere der Arthropoden als artenreichster Gruppe, variiert ebenfalls und liegt bei 10^7 bis 10^8 [2, 6]. Trifft die Annahme jeweils spezifischer Symbiosen weitgehend zu, so folgen daraus etwa 10^8 (10^7 - 10^9) Mikrobenarten.

(3) Modelle, die mit beobachteten Individuenzahlen Skalierungen auf das globale Artenvorkommen vornehmen, überbrücken bei ihrer Vorhersage viele Größenordnungen, die mit bisher wenigen verfügbaren Daten gestützt wird [7, 8]. Die Prognose von mehr als 10^{11} existierenden Arten berührt allerdings eine kaum vorstellbare Dimension.

Bei allen Unwägbarkeiten gegenwärtiger Voraussagen ist eines sicher: Der Mikrobiologie wird es auch zukünftig nicht an neuen Untersuchungsobjekten und darunter faszinierenden Organismen mangeln, so sie sich im Labor vermehren oder mit Einzelzellmethoden studieren lassen. Mikrobiologinnen und Bakte-

rienforscher werden den mikrobiellen Reichtum kaum ausschöpfen können (auch, wenn dafür nicht jede existierende Art untersucht werden muss), seien es nun höchstens 100 Millionen oder gar 100 Milliarden Arten, die auf unserer Erde fast jede erdenkliche Nische erobert und mitgestaltet haben.

Literatur

- [1] H. Engelhardt, Wieviele Mikrobenarten gibt es? (Teil 1). *Biologie in unserer Zeit*, 2020, 50, 450–451.
- [2] C. Mora et al., How many species are there on earth and in the ocean? *PLOS Biology*, 2011, 9, <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001127>
- [3] Pasolli et al., Extensive unexplored human microbiome diversity revealed over 150,000 genomes from metagenomes spanning age, geography, and lifestyle. *Cell*, 2019, 176, 649–662.
- [4] L.D. Alcaraz et al., Marchantia liverworts as a proxy to plants' basal microbiomes. *Scientific Reports*, 2018, 8, <https://www.nature.com/articles/s41598-018-31168-0>
- [5] S. Lee et al., Comparative microbiome analysis of three species of laboratory-reared *Periplaneta* cockroaches. *Korean Journal of Parasitology*, 2020, 58, 537–542.
- [6] B. B. Larsen et al., Inordinate foundness multiplied and redistributed: The number of species on earth and the new pie of life. *The Quarterly Review of Biology*, 2017, 92, 229–265.
- [7] K. J. Locey, J. T. Lennon, Scaling laws predict global microbial diversity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2016, 113, 5970–5975.
- [8] J. T. Lennon, K. J. Locey, More support for Earth's massive microbiome. *Biology Direct* 2020, 15, <https://doi.org/10.1186/s13062-020-00261-8>
- [9] T. P. Curtis et al., Estimating prokaryotic diversity and its limits. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2002, 99, 10494–10499.
- [10] R. Amann, R. Rosselló-Móra. After all, only millions? *mBio*, 2016, 7, <https://doi.org/10.1128/mBio.00999-16>
- [11] Liste der Namen von Prokaryoten, <https://psn.dsmz.de/text/numbers> (23.12.2020).
- [12] Information des Umweltbundesamts, <https://www.umweltbundesamt.de/bakterien#aussehen> (23.12.2020).
- [13] S. Louca et al. A census-based estimate of Earth's bacterial and archaeal diversity. *PLOS Biology*, 2019, 17, <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000106>
- [14] P.D. Schloss et al., Status of the archaeal and bacterial census: an update. *mBio*, 2016, 7, <https://doi.org/10.1128/mBio.00201-16>

*Harald Engelhardt,
Martinsried*

DEKADE DES OZEANS

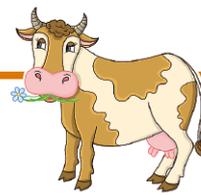


Aktuell finden weltweit die Auftaktveranstaltungen zur United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021–2030) statt. In Deutschland wurden am 28. Januar in Hamburg die Auftaktveranstaltung seitens der Deutschen Meeresstiftung und am 15. Februar in München die seitens des VBIO durchgeführt. An beiden Standorten fanden eine Licht- & Videoinstallation sowie ein Live-Stream ins Internet statt. In München war der VBIO Landesverband Bayern mit seinem Hauptkooperationspartner GeoBioCenter der LMU und der Technik-Gruppe „Indivisualist.com“ als Sponsor der Veranstalter. Weitere Informationen dazu unter www.vbio.de/bayern/UNOzeanDekade sowie unter www.OzeanDekade.org.

PODCAST



Im „Podcast, der Wissen schafft“ geben Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen Antworten rund um das Thema Genome Editing – sachlich, verständlich und ohne Längen. Jede der ersten sechs Episoden umfasst 5 bis 6 Fragen und dauert rund 12 Minuten: Alles also sehr kompakt und überschaubar. Die erste Staffel befasst sich ausschließlich mit Genomeditierung bei Pflanzen. Weitere Staffeln folgen und werden das Themenspektrum noch erweitern. Der Podcast ist eingebettet in <https://genomeediting.podcaster.de/>, eine Website, die neben den Porträts der Gäste noch weitere Informationen rund ums Thema liefert. Zu hören ist der Podcast über alle gängigen Portale wie:
 iTunes – <https://podcasts.apple.com/us/podcast/genome-editing-wiewaswozu/id1544290238>,
 Spotify – <https://open.spotify.com/show/4PQTlmdsVnG8rdy7xFzZkQ> und
 Podcaster – <https://www.podcast.de/podcast/887688/archiv/>



MANAGEMENT-FALLSTRICKE, TEIL 7

Der Mitläufer-Effekt

Fehlentscheidungen sind menschlich. Wir aber lassen in unserer Serie „Management-Fallstricke“ einmal die Tiere zu Wort kommen. In Form von Fabeln vermittelt unsere Autorin Andrea Hauk in anschaulicher Weise typische Denkfehler, die auf allen Managementebenen zu Hause sind. Vielleicht sind Sie ja selbst auch schon einmal in die eine oder andere Falle getappt?

Kuh Florina besah sich im Spiegel. Sie wiegte sich hin und her und lächelte aufgeregt. Die Schuhe pass-ten perfekt. Wer hätte gedacht, dass einmal die Chance kommen würde, diese Schuhe bei einem Schönheitswettbewerb zur Schau zu stellen! Ein letztes Mal strich sich Florina über das glänzende Rot an ihren Beinen und verließ dann mit elegantem Schritt die Kabine. Draußen tummelte sich noch eine Reihe anderer Schönheiten, die sich eifrig in Szene setzten. Florina sah sich interessiert um, stellte aber zufrieden fest, dass wohl keiner der Konkurrenten ein solches Alleinstellungsmerkmal hatte wie sie mit ihren roten Stöckelschuhen. Diese ließen sie größer, eleganter und auch moderner wirken als alle anderen zusammen. Selbstbewusst betrat sie die Bühne und präsentierte sich. Ihr Mut zahlte sich aus. Nach mehreren Runden Schaulaufen gewann sie den Wettbewerb haushoch. Noch nie zuvor hatte sich eine Kuh getraut, in Stöckelschuhen diese Disziplin zu absolvieren. Stolz und ehrfürchtig nahm sie die silberne Krone entgegen, die sie als Siegerin auszeichnete und muhte ein Dankeschön.

Noch am gleichen Nachmittag postete sie ihr Siegerfoto im Netz und erntete dafür jede Menge Likes. Der Stein kam ins Rollen. Plötzlich wurde sie von wichtigen Geschäftsleuten zu Veranstaltungen eingeladen, die Zeitungen veröffentlichten ihr Bild, und sie bekam Fanpost. Das spornte nun auch die Kühe ihrer eigenen Herde an. Sie wollten eben-

falls solche Schuhe haben, waren diese doch offensichtlich der Schlüssel zum Erfolg. So kam es, dass nur wenige Tage nach dem Küren der Schönheitskönigin die Nachfrage an roten Stöckelschuhen exponentiell wuchs. Es kam sogar zu Lieferengpässen, so rasant verbreitete sich die Nachricht über dieses erfolversprechende Accessoire. Jede, die etwas auf sich hielt, wollte bei diesem Trend dabei sein. Und es zahlte sich aus: Die roten Schuhe fielen auf. Man wurde gesehen und bewundert. Diejenigen, die sich zunächst noch zierten, beugten sich bald der Mehrheit. Wer mochte schon klein und unscheinbar Grasbüschel kauen, wenn alle um einen herum nun größer, schöner und mit Sicherheit auch erfolgreicher waren? Gut, die Schuhe waren nicht sonderlich bequem. Aber was soll's?

Kuh Florina rührte weiter kräftig die Werbetrommel und wurde schon bald als Ikone über Feld und Wiesen hinaus berühmt. Die Massen liebten sie. Ganz beiläufig füllte sich ihr Bankkonto in nicht unerheblichem Umfang. Der Verkauf der Schuhe hatte einen neuen Höchststand erreicht. Durch ihre Vorreiterrolle mobilisierte sie mittlerweile ganz andere Tierarten. Neben Kühen trugen nun auch Rehe, Wildschweine, Hasen und Hunde die unbequemen Accessoires. Alles was laufen konnte, wollte diese erfolversprechende Fußkleidung. Selbst die fast blinden Maulwürfe versprachen sich dadurch enorme Imagesteigerungen. Mit der Zeit wurde das Tragen der roten Stöckelschuhe

fast schon zur Normalität. Gleichzeitig füllten sich die Tierarztpraxen. Das Laufen und auch die Futtersuche waren in den Schuhen definitiv eingeschränkt. Trotzdem hielt der Trend an. Die Hühner hatten so ihre Probleme, die Krallen in den schmalen Schuhen unterzubringen, doch auch sie beklagten sich nicht. Alle wollten sie dabei sein, auf der Erfolgswelle mitreiten. Dazugehören, Recht haben. Das nicht zu wollen wäre auch wirklich dumm. Jeder wusste doch, dass man mit Stöckelschuhen erfolgreicher war als ohne! Nicht umsonst waren diese ständig ausverkauft. Kuh Florina arbeitete derweil an einem neuen Erfolgskonzept, sie wollte schließlich nicht herumlaufen wie alle anderen auch.



Und die Moral von der Geschichte: Die, die folgen der Herde blind, nicht immer selbst auch erfolgreich sind.

*Ihre Andrea Hauk,
andreabauk@gmx.de*

FAKTENBOX

Wir Menschen streben nach Harmonie. Zu Gruppen wollen wir „dazu“ gehören und lassen uns auch gerne von Anführern treiben. Wir präferieren diejenigen Optionen, denen unser Umfeld den Vorzug gibt und schließen uns gerne Meinungen an, ohne sie vollständig analysiert bzw. hinterfragt zu haben. Der sogenannte Mitläufereffekt wurde bereits 1948 im Rahmen der Wählerforschung beschrieben und wird vor allem bei fortgeschrittenen Trends und Hypes beobachtet. Durch diese kognitive Verzerrung kaufen wir bestimmtes Klopapier oder Bücher, die andere auch kaufen („Bestseller“-Aufkleber). Wir managen unsere Projekte „agil“, weil das die großen Firmen auch tun. Rein gefühlt ist die Wahrscheinlichkeit die richtige Wahl getroffen zu haben höher, wenn wir handeln wie es die breite Masse tut. Höchst spannend sind allerdings die gegensätzlichen Gründe des „Leaders“ und der „Mitläufer“ des gesetzten Trends: Der „Leader“ entscheidet sich für die Option, um gerade NICHT dazuzugehören, um gegen den Strom zu schwimmen und um etwas Besonderes zu sein, während die „Follower“ sich gerade WEGEN der Gruppenzugehörigkeit für diese Option entscheiden. Überprüfen Sie sich doch einmal selbst: Orientieren Sie etwa auch Ihre Strategien, ihre Methoden oder ihre Produkte an den großen Marktführern?

MIKROSKOPIE

Gelungener Einstieg



Dem knapp 190 Seiten starken Buch „Faszination Mikroskopie – Band 1: Grundlagen, Techniken, Anwendungen“ von Prof. Dr. Werner Nachtigall, Dr. Jörg Piper und Frank Fox gelingt es in bemerkenswerter Weise, alle wesentlichen Konzepte rund um die Grundlagen der Lichtmikroskopie auf besonders anschauliche und kurzweilige Weise darzustellen. In acht Kapiteln befasst es sich mit dem Aufbau und den optischen Grundlagen der Lichtmikroskopie, der Dokumentation (Zeichnen, Messen und Fotografieren) und gibt zudem einen sehr kurzen, schlaglichtartigen Überblick zum Thema digitale Bildverarbeitung und -rekonstruktion mikroskopischer Bildvorlagen. Die Autoren vermitteln die Grundlagen über eine besonders angenehm zu lesende, leicht verständliche Sprache und unterstützen das Verständnis für die Materie durch viele aussagekräftige Abbildungen, die es dem Leser nicht nur leicht machen das Geschilderte zu verstehen, sondern geradezu verführen, neugierig immer tiefer in die Materie einzudringen. Mit diesem Werk gelingt es den Autoren, auch komplizierte Sachverhalte präzise zu präsentieren und gleichzeitig über eindrucksvolle Abbildungen und Grafiken mühelos nachvollziehbar zu erklären. Von seiner Tiefe und dem im vorliegenden Band angesprochenen Themenumfang her eignet sich das Buch aus meiner Sicht ganz besonders für Schüler der Mittel- und Oberstufe sowie für interessierte Laien. Das Buch „Faszination Mikroskopie“ – Band 1: Grundlagen, Techniken, Anwendungen“ ist auf hochwertigem Papier gedruckt und erscheint mit ansprechendem Umschlagbild in stabiler Fadenbindung im Hardcover, was den rundum gelungenen Gesamteindruck des Werkes angenehm abrundet.

Gerhard Kauer, Emden/Leer

Faszination Mikroskopie.

Band 1: Grundlagen, Technik, Anwendungen. Werner Nachtigall, Jörg Piper, Frank Fox, Dustri-Verlag, Oberhaching, 2020, 198 S., 39,50 €, ISBN 978-3-871-85556-6.

ENTOMOLOGIE

Ovid der Moderne

Der Mensch ist empfänglich für magische Zusammenhänge. Ob Zauberer oder Flaschengeist, antike Götter oder sagenhafte Mischwesen – sie alle sind fähig, ihre Gestalt grundlegend zu verändern. Wer sich für die Geschichten hinter den biologischen Artnamen interessiert, kennt vielleicht die Metamorphosen des Griechen Ovid. Da werden Menschen in Tiere verwandelt, um sie vor der Habgier der Götter zu schützen, oder weil einzelne Menschen den Zorn der Götter heraufbeschworen haben. Im wirklichen Leben sind es die Verwandlungen der Insekten, die etwas Zauberhaftes an sich haben. Wer kann schon intuitiv begreifen, wie aus einer plumpen Raupe ein feingliedriger Schmetterling wird?

Das Buch beeindruckt besonders durch die vielen großformatigen Fotos, die jeweils Larve und Imago einander gegenüberstellen. Diese Bilder verdankt das Buch den Gründern von „Eye of Science“: Nicole Ottawa und Oliver Meckes beherrschen nicht nur die Rasterelektronenmikroskopie, sondern erhöhen diese durch gekonnte Kolorationen zur Kunstform. So werden Porträts mit faszinierender Detailtiefe erreicht, die zudem eine große Ästhetik aufweisen. Aber auch die anderen Abbildungen und Fotos werden dem hohen Anspruch gerecht. Der vorliegende Band ist aber weit mehr als ein Bilderbuch über Insekten. Dafür sorgen die Sachbuchautorin Veronika Strauß und der Journalist Claus-Peter Lieckfeld. Mit wissenschaftlicher Präzision und Begeisterung erklären die beiden Auto-

ren zunächst die Grundlagen des Insektenkörpers und der Umbauvorgänge während der Metamorphose. Auf allgemeine Einführungen in verschiedene taxonomische Gruppen (z. B. Käfer, Schmetterlinge, Libellen) folgen Monografien ausgewählter Arten, die den Lebenszyklus und die Besonderheiten dieser Vertreter vorstellen. So tarnt sich der Blattläuslöwe (*Chrysoperla carnea*) mit den Hüllen der ausgesaugten Beute vor patroulierenden Ameisen, die ihre Honigtaulieferanten doch zu schützen suchen.

Man merkt dem Buch auf jeder Seite an, wieviel Liebe zum Detail – sei es bildlich oder faktenbezogen – die Macher haben walten lassen. Im Unterschied zu einem Lehrbuch ist „Wandlungskünstler“ niemals eine Sammlung von Lexikoneinträgen, sondern ein mit Bedacht und Einfühlungsvermögen geschriebenes und gesetztes Buch. Die Texte sind bei allem Faktenreichtum leicht und unterhaltsam zu lesen und bergen in sich wiederum viele kleine Geschichten. So etwa beim Seidenspinner (*Bombyx mori*), der Teil der menschlichen Kulturgeschichte wurde, oder der frühen Adonislilibe (*Pyrrhosoma nymphula*), die einen Bezug zur griechischen Sagenwelt und damit zu Ovid aufweist. Abschließend gehen die Autoren noch ausführlich auf die Präparationsmethode und Mikroskopietechnik ein, die die wunderbaren Porträtaufnahmen ermöglicht haben. Das Buch ist für alle Freunde der Fotografie, passionierte Insektenforscher und Naturliebhaber sehr empfehlenswert. Die Magie der Insektenmetamorphose ist hier spürbar!

Pascal Eitner, Maisach

Wandlungskünstler – die geheime Erfolgsgeschichte der Insekten.

N. Ottawa, O. Meckes, V. Strauß, C.-P. Lieckfeld, Dölling und Galitz Verlag, München, 2018, 120 S., 24,90 €, 978-3-862-18087-5.



AUSSERSCHULISCHE LERNORTE

Klimahaus Bremerhaven: Von der Antarktis bis in die Tropen – eine Klimazonenexpedition im Zeitraffer

In diesem „Mitmach-Erlebnis-Center“ in einem architektonisch futuristisch gestalteten Gebäude erwarten die Besucher einmalige Eindrücke zu den wichtigsten Klimazonen der Erde. Auf der Basis aktueller Sachinformationen rund um das Weltklima erleben sie in den einzelnen Ausstellungsbereichen realitätsnah die jeweiligen klimatischen Bedingungen.

In nur wenigen Stunden oder noch besser während der gesamten Tagesöffnungszeit in die Ökologie der Schweizer Bergwelt, des westafrikanischen Regenwaldes (Abbildung 1), der Sahelzone und der Eiswüsten der Antarktis (Abbildung 2) eintauchen, entlang der Südseeinsel Samoa

(Abbildung 3) und wieder zurück an die Nordseeküste – diese Reise einmal um den Globus, entlang dem Längengrad 8° 34' Ost, kann der Besucher im Klimahaus 8° Ost in Bremerhaven nachempfinden. Dabei erlebt er die Reise in den realitätsnah nachgebildeten Ökosystemseg-

menten virtuell, mit Animationen, vor allem aber mit allen Sinnen. Insgesamt werden neun Stationen bereit, die alle in einem futuristisch über mehrere Etagen angelegten Architekturhighlight (Abbildung 4) angesiedelt sind. Als Leitgedanke der Ausstellung dienen aufschlussreiche Informationen zur Klimageschichte, als Klimaperspektive mit Blick auf anthropogen verursachte und vielleicht noch aufzufangende Problemkreise. Hinzukommen eine „Zurück in die Zukunft“-Reise in das Kohlezeitalter, ebenso ein Wetterstudio, in dem an Wochenenden Wettershows stattfinden. In einem separaten Ausstellungsbereich erfährt der Besucher etwas zu Zukunftsperspektiven weltweit.

Die gesamte Ausstellung spielt bewusst mit einer gewissen Reiz-



ABB. 1 Der Regenwald in Westafrika. Alle Bilder: C. Högermann.



ABB. 2 Eiskalte Einblicke in die Eiswüste Alaskas.



ABB. 3 Insel-„Feeling“ auf Samoa.



ABB. 4 Das Ausstellungshaus „Klimahaus Bremerhaven 8° Ost“ liegt am Alten Hafen. Seine Form ähnelt einem Boot.

EINTRITTSPREISE:

Erwachsene ab 18 Jahren 17,50 Euro, ermäßigt 13 Euro.

Gruppen ab 15 Personen mit Voranmeldung: Erwachsene 14 Euro, ermäßigt 9 Euro pro Person.

Kinder unter 5 Jahren frei.
Familienkarte 55 Euro bzw. 39 Euro (1 Erwachsener + Kinder).

Öffnungszeiten:
Je nach Jahreszeit unterschiedlich, bitte informieren Sie sich – auch vor dem Hintergrund der Corona-Pandemie – unter www.klimahaus-bremerhaven.de.

überflutung als realistische Bezugsetzung zu unserer gegenwärtigen Lebenswelt. In einem „World Future Labor“ lässt sich spielerisch die Welt retten, und Nachhaltigkeit sowie Hilfestellungen für eine ausgewogene Ernährung stehen in einer Kochschule im Vordergrund. Das behindertengerecht gestaltete Erlebnismuseum bietet nicht nur Freizeitvergnügen sowie pädagogische Angebote, sondern vermittelt auch globale, regionale und individuelle Herausforderungen, die der Klimawandel mit sich bringt. Hier ergänzt sich das Klimahaus mit dem orts-

ansässigen Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung.

Das Offshore Center mit seinen Bereichen „Vision“, „Konstruktion“, „Produktion“, „Auf See“ sowie „Zahlen & Fakten“ veranschaulicht den Entstehungsprozess von Windparks auf spannend-informative Weise. Mit einem Hubschraubersimulator können die Besucher sogar virtuell auf das Meer hinaus zu den großen Offshore-Windparkanlagen fliegen.

*Christiane Högermann,
Osnabrück*

VOLKER STORCH VERLÄSST DAS HERAUSGEBERGREMIIUM VON BIUZ

Nach über 30 Jahren hat sich Prof. Dr. Dr. h. c. Volker Storch aus dem Kuratorium der Biuz verabschiedet. Das ist ein großer Schritt – für ihn persönlich, der viel Zeit ehrenamtlich in dieses Journal investierte, aber auch für die Leserinnen und Leser, deren Bild von dem, was Biologie sein kann, von ihm geprägt wurde.



Für viele Biologen im deutschsprachigen Raum begann der Weg mit Volker Storch schon im Studium: Unumgänglich war der von ihm gemeinsam mit Ulrich Welsch editierte „Kükenthal“, und auch am „Kurzen Lehrbuch der Zoologie“ (zusammen mit U. Welsch) und der „Evolutionsbiologie“ (gemeinsam mit M. Wink und U. Welsch) führte praktisch kein Weg vorbei. Storchs Lehrbücher wurden in sieben Sprachen übersetzt.

Auch nach Studienende sind viele Lebenslinien in den Lebenswissenschaften mit seinem Namen verknüpft, und es gibt weltweit ein Netzwerk von Menschen, die ihm zu großem Dank verpflichtet sind. Über 300 Arbeiten hat Volker Storch in seinen Forschungsschwerpunkten – Ultrastrukturforschung und Evolutionsbiologie – veröffentlicht und international junge Forschende gefördert. Immer hat er nicht nur die Grundlagenforschung, sondern auch die gesellschaftliche Relevanz der Biologie gesehen und ist an allen Elfenbeintürmen mit dem für ihn typischen leisen Spott vorbeigeschritten.

Weitere Stichworte zu seinem Antrieb, Wissen zu vermitteln, sind sein Engagement als Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirats der Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung, die Organisation der erfolgreichen Heidelberger Sonntagsmatineen, seine Tätigkeit als Gutachter (u. a. in Kommissionen des Wissenschaftsrats) und als Gastprofessor in Südostasien – und natürlich sein Engagement für Biuz. Langjährigen Leserinnen und Lesern ist er als Verfasser von amüsanten Rätseln bekannt. Doch spiegeln diese nur einen Bruchteil dessen wider, was Volker Storch für Biuz getan hat: So nutzte er jahrzehntelang seine hervorragenden Kontakte, um wichtige Themen und große Autoren in die Zeitschrift zu bringen. Immer wieder gelang es ihm auf freundliche, aber nachdrückliche Weise, Spitzenforscher davon zu überzeugen, über ihre Erkenntnisse einen Biuz-Artikel zu verfassen – auf deutsch, ohne Honorar und für eine Zeitschrift ohne Impact-Faktor.

Volker Storch ist ein Freund von Fakten, und er mag kein Geschwafel. Deshalb wäre dieser Text ohne Eckpunkte seiner wissenschaftlichen Vita nicht vollständig: Geboren 1943, studierte er als Studienstiftler Biologie und Chemie in Kiel und promovierte 1968 im Fach Zoologie. Von 1973 an übernahm er die Vertretung einer Professur in Hamburg. Von 1979 bis 2009 hatte er den Lehrstuhl für Morphologie und Ökologie an der Universität Heidelberg inne. Im Jahr 2004 wurde ihm die Ehrendoktorwürde der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald verliehen. Nach seiner Emeritierung ernannte ihn die Universität Heidelberg zum Seniorprofessor – ein Status, mit dem besonders engagierte akademische Lehrer und herausragende Forscher gewürdigt werden.

Leider gibt es im Zeitschriftenwesen keine Ehrenherausgeberschaften – Volker Storch wäre ein sicherer Kandidat dafür. So bleibt uns, der früheren Redakteurin Claudia von See und dem Editorial Board (vormals Kuratorium), nur die Möglichkeit, ihm schlicht „danke“ für die außerordentlich fruchtbare Zusammenarbeit über Jahrzehnte hinweg zu sagen.

Zum Abschluss noch zwei Tipps, falls Sie das Glück haben, ihm zu begegnen. Erstens: Nehmen Sie sich Zeit – sein Wissen über hohe und sehr kleine Tiere, große Zusammenhänge sowie unbeachtete Details und sogar über Menschenfresser in Polynesien ist unvergleichlich. Sie werden das Gespräch klüger beenden, als Sie es begonnen haben. Und zweitens: Versuchen Sie nicht, ihn zu beeindrucken. Er durchschaut es und wird Sie sofort testen, indem er Ihnen irgendetwas unter die Nase hält, was Sie so noch nicht gesehen haben. Sie werden mit großer Wahrscheinlichkeit passen müssen. Seien Sie nicht traurig, er hat damit gerechnet. Womit wir wieder bei dem ersten Ratschlag wären ...

Die Autoren:

Dr. Claudia von See war 17 Jahre lang Redakteurin von Biuz und ist gemeinsam mit Prof. Dr. Dr. h. c. Volker Storch und Prof. Dr. Peter Rothe Herausgeberin des Titels „Lebensspuren im Stein“. Heute ist sie für das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt tätig.

Prof. Dr. Dr. h. c. Erwin Beck ist Mitglied des Editorial Boards der Biuz und war gemeinsam mit V. Storch über 30 Jahre Mitglied des Biuz-Kuratoriums.

PARTNER DES MENSCHEN

Der indische Elefant: Waldarbeiter und Machtsymbol

Elefanten sind gerade in asiatischen Kulturen ein wichtiger Partner des Menschen. Sie dienen als Waldarbeiter, helfen als Reittier bei der Jagd und haben sogar einer Gottheit ihr Aussehen geliehen. Könige und Feldherren haben sich nicht nur mit Elfenbein geschmückt, sondern verehrten die Stärke der großen Rüsseltiere, was letzteren einen zweifelhaften Ruhm bei Kriegshandlungen eingebracht hat. Auch Bioniker haben die Fähigkeiten der Dickhäuter für sich entdeckt.



ABB. 1 Der indische Elefant ist das zweitgrößte Landsäugetier. Foto: Gigi Roger Brogan.

Es ist schwer vorstellbar, wie Menschen jemals so mächtige Tiere wie Elefanten dazu bringen konnten, in ihren Dienst zu treten. Die enorme Größe und Kraft der Tiere war und ist jedenfalls so beeindruckend, dass sie zum Herrschaftssymbol wurden und sogar als elefantengesichtige Gottheit Ganesha religiöse Bedeutung bei den Hindus erlangten.

Der asiatische Elefant (*Elephas maximus*, Abbildung 1) kam ursprünglich vom nahen Orient (Syrien) bis Südostasien einschließlich der malaiischen Inselwelt vor. Die größte und bekannteste der drei Unterarten ist der indische Elefant, der sich durch eine Schulterhöhe von bis zu 340 cm und ein Gewicht von maximal 5000 kg auszeichnet.

Als reiner Vegetarier muss er viel Pflanzenkost – bis zu 150 kg täglich – zu sich nehmen. Vom afrikanischen Steppenelefant (*Loxodonta africana*) unterscheidet er sich unter anderem durch seine kleineren Ohren, die beiden breiten Stirnhöcker sowie den längeren Rüssel. Wie alle Elefanten lebt *E. maximus* in einer Herde, die aus Weibchen mit ihren Jungtieren besteht und von einem erfahrenen Weibchen angeführt wird. Die Tiere verständigen sich mit Gesten und Infraschall, also Tönen, die zu tief für das menschliche Gehör sind. Kennzeichnend für die Dickhäuter sind außerdem die zu Stoßzähnen umgeformten oberen Schneidezähne, die als Grab- und Schälwerkzeug sowie zur Abwehr von Feinden dienen. Auch wenn erwachsene Tiere keine Räuber fürchten müssen, können Jungtiere Opfer von Raubkatzen werden, falls sie von der Herde getrennt sind. Die Lebenserwartung beträgt beim indischen Elefanten maximal 70 Jahre.

Ausbildung und Waldarbeit

Asiatische Elefanten scheinen ein grundsätzlich ruhigeres und offeneres Gemüt zu besitzen als ihre afrikanischen Verwandten. So verwundert es auch nicht, dass die Zähmung überwiegend in Asien gelungen ist. Belegt sind u. a. schriftliche Quellen aus Indien um 1500 vor Christus, die von Fang, Haltung und Ausbildung der Arbeitselefanten berichten, die analog zur Organisation der indischen Gesellschaft in Kasten eingeteilt werden. Mithilfe der kräftigen

Nutztiere roden die Menschen den Wald und transportieren das Holz heraus. Auf diese Weise helfen die Dickhäuter bei der Entstehung neuer menschlicher Siedlungen. Vorbereitet und begleitet werden sie durch eine neu entstandene Berufsgruppe: die Mahouts (Abbildung 2). Ein solcher Elefantentrainer und -führer kann sein Tier dazu bringen, 20 bis 30 verschiedene Kommandos zu befolgen, wobei der Mahout weitere Anweisungen über Berührungen gibt – so wie ein Reiter auf Pferden auch mit Schenkeldruck arbeitet, um mit seinem Tier zu kommunizieren. Sobald die Elefanten mit 7 bis 10 Jahren ihre Pubertät hinter sich gebracht haben, kann die Ausbildung beginnen, die sich über drei bis vier Jahre erstreckt. Damit der Dickhäuter seinen Trainer akzeptiert, wird er nur von diesem gefüttert und gepflegt. Dadurch verstärkt sich die persönliche Bindung zwischen Mensch und Tier, und der Mahout avanciert in den



ABB. 2 Ein Mahout bleibt seinem Schützling ein Leben lang eng verbunden. Foto: www.wikipedia.de.

DICKHÄUTER AUSSER DIENST

Nach mehr als 50 Jahren harter Arbeit dürfen auch indische Elefanten in den wohlverdienten Ruhestand gehen. In der indischen Provinz Kerala sowie im nordthailändischen Lampang erweisen die Menschen ihre Dankbarkeit, indem sie die mächtigen Rüsseltiere mit 65 Jahren aus dem Dienst entlassen. Danach werden die Ruheständler weiterhin gefüttert und gepflegt.

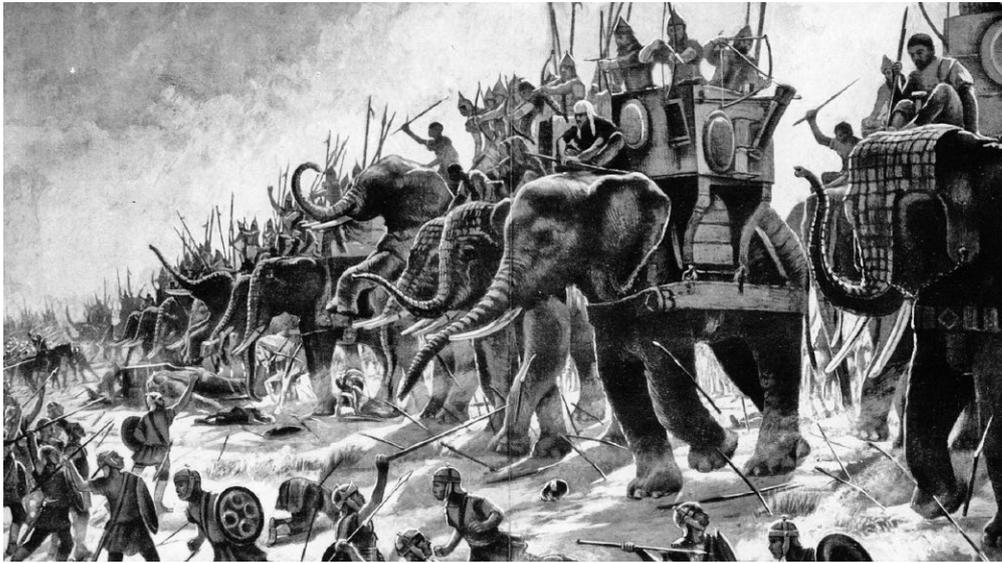


ABB. 3 Der Karthager Hannibal hatte zwar beeindruckende tierische Helfer, konnte aber Rom trotzdem nicht erobern. Gemälde: Henri-Paul Motte.

Augen seines Schützlings zum Leittier.

Elfenbein und Kriegsdienst

Weniger partnerschaftlich ging es in der Vergangenheit zu, wenn der Mensch das Elfenbein begehrte. Schmuck, Möbelverzierungen, weiße Klaviertasten, ja selbst Essstäbchen wurden früher (und teilweise heute noch) aus dem edlen und leicht zu verarbeitenden Naturstoff gefertigt. Um an die wertvollen Stoßzähne zu kommen, wurden und werden immer noch Tausende Elefanten weltweit getötet. Der illegale Handel mit Elfenbein überschreitet in manchen Jahren 100 Tonnen – Hauptabneh-

mer sind China und Japan – und er wird durch den Tourismus beflügelt, so dass mancherorts zum Schutz der Elefanten die Stoßzähne früh entfernt werden.

Dagegen durften die Rüsseltiere bei anderen Gelegenheiten ihre Stoßzähne behalten, mussten aber dafür in den Krieg ziehen (Abbildung 3). Nicht nur im Fantasyfilm-Epos „Der Herr der Ringe“ tauchen elefantenartige Wesen auf, die von den Heerführern in die feindlichen Linien geführt werden, wo sie die Gegner zertrampeln sollen. Schon in vorchristlicher Zeit waren Kriegselefanten Bestandteil großer Heere. Alexander der Große und Hannibal

gehören dabei zu den bekanntesten Generälen mit Kriegselefanten, obwohl die Rüsseltiere nicht unbedingt den Ausgang der Schlacht positiv beeinflussten. Die eher friedlichen Tiere gerieten im Getümmel schnell in Panik, und während sie flüchteten, zertrampelten sie auch Soldaten aus den eigenen Reihen.

Vielseitiger Greifer am Kopf

Eigentlich müsste man bei Elefanten von fünf Extremitäten sprechen. Neben den vier stämmigen Beinen ist der Rüssel der auffälligste, abstehende Körperteil. Die Beine sind aufgrund der großen Körpermasse nur zum Laufen, und nicht mehr zum Greifen geeignet. Diese Aufgabe übernimmt der feingliedrige Rüssel, der mit seinen 40.000 Muskelsträngen sowohl kraftvoll als auch sensibel agieren kann. Vom kleinen Ast bis zum 250 Kilogramm schweren Holzstamm kann er alle möglichen Objekte hochheben und gezielt manipulieren. Da er keinerlei Knochen enthält, sind seiner Beweglichkeit fast keine Grenzen gesetzt. Und damit auch kleine Objekte sicher gegriffen werden können, befindet sich am Rüsselende beim asiatischen Elefanten eine Greiflippe (bei der Gattung *Loxodonta* sind es zwei). Diese Kombination aus kraftvoller Beweglichkeit und feinmotorischer Präzision hat Bioniker zum Bau eines flexiblen Roboterarms inspiriert (Abbildung 4). Ingenieure aus Esslingen haben einen besonders beweglichen Schwenkarm nach dem Vorbild des Elefantenrüssels konstruiert, der mit seinem endständigen Greifer sogar ein rohes Ei festhalten kann, ohne dass dieses zu Schaden kommt.

Der Mensch wird noch lange über die Elefanten staunen und sich seine Fähigkeiten zunutze machen. Von den in den letzten Jahrzehnten initiierten Schutzprogrammen werden hoffentlich auch die Elefanten selbst profitieren.



ABB. 4 Der „bionische Handling Assistent“ der Firma Festo ist teilweise dem Elefantenrüssel nachempfunden und kann Werkstücke montieren oder sogar als Erntehelfer dienen. Foto: Festo GmbH.

Pascal Eitner,
pascal-eitner@arcor.de