

3 | 2024

**VBio**

Verband | Biologie, Biowissenschaften & Biomedizin in Deutschland



**ÖKOLOGIE**  
Blühphänologische  
Variation



**DINOPHYCEEN**  
Botschafter  
gegen Artensterben

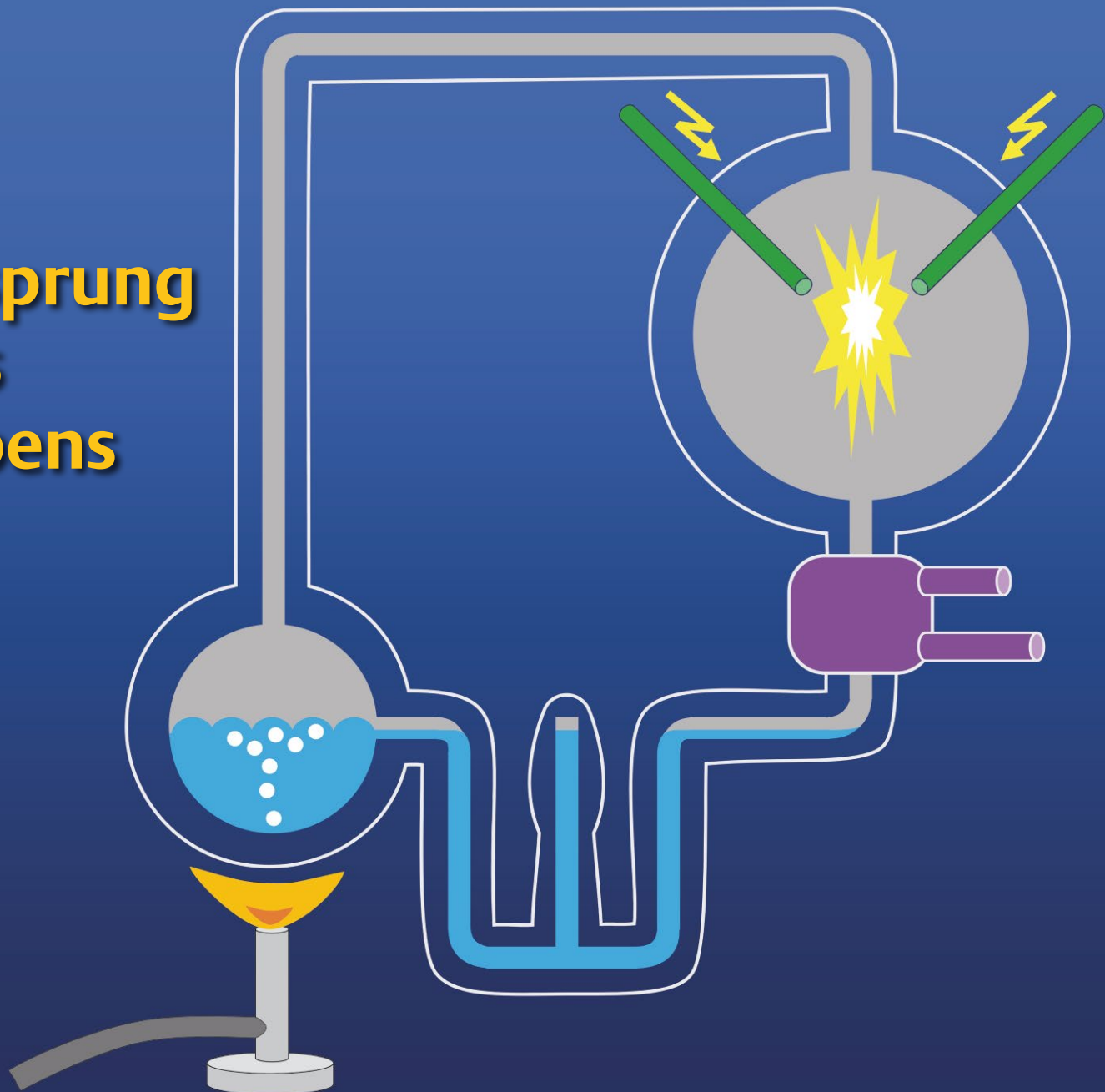


**GEWÜRZ-  
PFLANZEN**  
Ätherische Öle  
in Lippenblütlern

# BIOLOGIE

## IN UNSERER ZEIT

### Ursprung des Lebens



## WERDEN SIE MITGLIED IM VBIO UND UNTERSTÜTZEN SIE DAMIT UNSERE ARBEIT!

Der Verband Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin - VBIO e.V. ist das gemeinsame Dach für alle, die in den Biowissenschaften tätig sind: in Hochschule, Schule, Industrie, Verwaltung, Selbstständigkeit oder Forschung. Die Mitglieder des VBIO vertreten das gesamte Spektrum der Biowissenschaften.

Der VBIO e.V. vertritt die Interessen aller biowissenschaftlichen und biomedizinischen Disziplinen. Dazu gestaltet der VBIO politische Entscheidungsprozesse mit und berät die Politik aktiv in relevanten Anliegen, von der Neuregelung des Gentechnikgesetzes bis hin zum Naturschutz in Zeiten des Klimawandels.

Gemeinsam mit Universitäten, Firmen und anderen Verbänden engagiert sich der VBIO um neue Berufsfelder zu erschließen und Qualitätsstandards in Studium und Beruf zu sichern.

Der VBIO setzt sich ein um Forschungsbedingungen für Wissenschaftler/-innen zu verbessern und Programme zur Forschungsförderung mitzugestalten.

Fort- und Weiterbildungen für Lehrkräfte, sowie außeruniversitäre Lehrveranstaltungen für Studierende werden vom VBIO und dessen Netzwerk veranstaltet.

## IHRE VORTEILE ALS VBIO-MITGLIED

- Biologie in unserer Zeit (BiuZ)
- Wöchentlicher VBIO-Newsletter
- Kontakt und Beratung
- Zugang zum VBIO-Netzwerk
- Begrüßungsgeschenk „Perspektiven“

## WEITERE INFORMATIONEN

[www.vbio.de](http://www.vbio.de)

Bitte Ihren Mitgliedsantrag an den VBIO:

- per Mail an: [info@vbio.de](mailto:info@vbio.de)
- per Fax: 089 - 26 02 45 74
- per Brief an:  
VBIO e.V.  
Corneliusstr. 12  
80469 München



## BEITRITTSERKLÄRUNG

Titel, Vorname, Name	
Straße und Hausnummer	
PLZ und Ort, ggf. Land	
Geburtsdatum	E-Mail-Adresse

**JA,** ich beantrage hiermit die Mitgliedschaft im VBIO ab 2023 als

- Vollmitglied**  
95 Euro/Jahr inkl. Printausgabe BiuZ und BiuZ-online
- Ermäßigtes Mitglied**  
35 Euro inkl. Printausgabe BiuZ und BiuZ-online  
(gegen Nachweis für Schüler, Studierende, Doktoranden etc.)
- Senioren-Mitglied**  
65 Euro/Jahr inkl. Printausgabe BiuZ und BiuZ-online

## ZAHLUNGSMODUS

- Lastschriftinzug, SEPA-Lastschriftmandat

Bankname
BIC
Name des Kontoinhabers:
IBAN: DE _ _ _ _ _

Hiermit ermächtige ich widerruflich den Verband Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin in Deutschland - VBIO e.V. (Gläubiger-Id.-Nr.: DE43BIO0000011320), den Jahresbeitrag in der jeweils fälligen Höhe zu den festgesetzten Fälligkeiten zu Lasten des oben angegebenen Kontos durch Lastschrift einzuziehen. Der Einzug kann ab sofort erfolgen. Wenn das Konto nicht die erforderliche Deckung aufweist, besteht seitens des Kreditinstituts keine Verpflichtung zur Einlösung der Zahlung. Kosten für Rücklastschriften gehen zu Lasten des Verursachers.

- Überweisung**  
(bitte ggf. nach Rechnungsstellung einen Dauerauftrag mit Termin im Januar erteilen)

## Einwilligungserklärung

Ich bin damit einverstanden, dass meine Daten für die Mitgliederbetreuung, den Mitglieder-service und der Zweckverwirklichung des VBIO gemäß Satzung und Datenschutzordnung des VBIO ([www.vbio.de/datenschutz](http://www.vbio.de/datenschutz)) unter Beachtung der EU-Datenschutz-Grundverordnung erhoben, verarbeitet und genutzt werden.

Mir ist bewusst, dass die Verarbeitung meiner Daten auf freiwilliger Basis erfolgt und ich mein Einverständnis jederzeit mit Wirkung für die Zukunft widerrufen kann und dass ich jederzeit Auskunft über die personenbezogenen Daten erhalte, sowie die Berichtigung, Löschung oder Sperrung für die Zukunft vornehmen lassen kann. Im Fall des Widerrufs der Einwilligungserklärung werden mit dem Zugang meiner Willenserklärung meine Daten beim VBIO unverzüglich gelöscht, sofern ich keinen Mitgliedsbeitrag mehr schulde oder der VBIO verpflichtet ist, bestimmte finanztechnische Daten für einen gesetzlich vorgeschriebenen Zeitraum zu speichern.

Ich bestätige hiermit, dass ich mit der Einwilligungserklärung einverstanden bin insbesondere auch in Hinsicht auf Kündigungsfristen und Zahlungsmodalitäten sowie die VBIO-Satzung zur Kenntnis genommen habe. Ich bitte Sie, mich als Mitglied in den VBIO aufzunehmen.

Ort, Datum, Unterschrift
--------------------------

## EDITORIAL

## Auf der Suche nach dem persönlichen Weg

Liebe Leserinnen und Leser, liebe Mitglieder des VBIO, liebe Kommilitoninnen und Kommilitonen – insbesondere liebe Studienanfängerinnen und Studienanfänger,

ich wollte schon immer Forscher werden. Meine Eltern erzählen, dass ich diesen Wunsch zum ersten Mal mit vier Jahren geäußert habe. Aber ich habe – wie viele andere auch – nicht sofort mit dem Studium begonnen und selbst diejenigen, die sofort mit einem Studium beginnen, sind auf der Suche nach dem Weg, der ihr ganz persönlicher sein könnte. Das belegt dieses Mal hier im Editorial mein Weg und dies zeigen die Wege, die im Teil „Politik und Gesellschaft“ beschrieben werden. Denn wieder gehört das dritte BiUZ-Heft in einem Kalenderjahr den jungen Biologinnen und Biologen mit ihren Botschaften und Erfahrungen.

Zurück zu mir: In der Oberstufe habe ich, nachdem mir bewusst geworden ist, wie lange ein Studium inklusive Doktorarbeit dauern könnte und vor allem wie viele geübte Handgriffe man im Labor dafür braucht, die Entscheidung getroffen, vor dem Studium eine Ausbildung zu absolvieren. Drei Jahre dauerte meine Ausbildung zum Medizinisch-Technischen Laboratoriumsassistenten an der Medizinischen Hochschule Hannover. Ich lernte das, was ich mir von dieser Ausbildung erhofft hatte: das Labor als Handwerk – Pipettieren, Mikroskopieren, Abwasch. Erst danach begann ich mein Studium an der Leibniz Universität Hannover. Da für mich Pflanzen und Tiere immer schon weniger interessant waren als Proteine und Nukleinsäuren, entschied ich mich für die Biochemie. Doch ich merkte schon in der „Allgemeinen Chemie“-Vorlesung, dass mich Chemie nicht so sehr begeisterte wie erwartet und mir ausgerechnet Tierartenkenntnis und Allgemeine Botanik, besonders die Einblicke in die Evolution und die Ökologie, doch erstaunlich gut gefallen. Also wechselte ich zur Biologie.

Doch jetzt am Ende meines Bachelor-Studiums rückt immer mehr die Frage in den Vordergrund, was ich nach dem Studium machen möchte. Möglichkeiten gibt es einige ([www.vbio.de/perspektiven](http://www.vbio.de/perspektiven)): Worauf ich wohl durch meine Vorlesungen und Praktika am besten vorbereitet werde, ist eine fachliche Spezialisierung im Master, um im Anschluss entweder eine Stelle in der Industrie oder eine Promotion anzustreben. Da ich mich ehrenamtlich in vielen Gremien in der Hochschulpolitik einbringe und dadurch mit unterschiedlichen Ordnungen, Organen, und der Akkreditierung von Studiengängen vertraut bin, wäre auch eine Stelle in der Verwaltung einer Hochschule denkbar. Ich könnte an meiner Universität auch noch ziemlich leicht auf einen Lehramts-Studiengang wechseln; dafür bräuchte ich nur ein weiteres Unterrichtsfach. Und



Nils Baum, Biologiestudent an der Leibniz Universität Hannover, ist seit Studienbeginn im Fachrat Biologie Hannover aktiv. 2022 kam er über die Bundesfachschaftentagung Biologie in Kontakt mit Luca Stephan, dem studentischen Mitglied im VBIO-Präsidium. Nils übernimmt für diese Ausgabe der BiUZ die Koordination des studentischen BIUZ-Teams.

wie Carsten Roller in einem Softskill Seminar „BIO studieren – und was dann? Strategische Überlegungen für dein Biologie Studium“ [1] auch erwähnt, ist da natürlich noch die Wirtschaft mit ihren vielfältigen Möglichkeiten. Ehrlich gesagt: Ich hatte nie darüber nachgedacht, als Werkstudent Erfahrungen in einem Unternehmen zu sammeln. Ich will ja schließlich Forscher werden! Aber jetzt erscheint mir dies zumindest eine sinnvolle Möglichkeit, um mich auf eine Zukunft ohne Dauerstellung im akademischen Mittelbau, wie es das Wissenschaftszeitvertragsgesetz vorsieht, vorzubereiten. Professor wird nicht jeder. Der Weg dorthin ist ein langer, dauert die gesamte Karriere und geht einher mit vielen Standortwechseln im In- und Ausland.

Ferner sind da noch die Fragen, die man sich ebenfalls im Studienverlauf stellt: Soll ich ein Auslandssemester machen? Sollte ich ein Praktikum bei einem Unternehmen oder in einem Forschungslabor durchführen? Soll ich nur den Bachelor machen oder strebe ich einen Master-Abschluss an? Oder sollte ich vielleicht meinen Master im Ausland absolvieren? Während des Studiums gibt es immer wieder Situationen, in der man sich entscheiden muss, in der ganz persönliche Weichenstellungen überlegt vorgenommen werden müssen.

In dieser Ausgabe findet Ihr dazu Berichte von jungen Biologinnen und einem Biologen, die ihr Studium und ihre Ausbildung schildern. Sie stellen sich genau diese Fragen, ob sich ein Auslandspraktikum lohnt, welcher Abschluss es sein soll und immer wieder geht es mit Blick auf das Berufsziel auch um die Inhalte, mit denen man sich beschäftigen möchte und inwiefern diese wichtig und interessant für die eigene Lebensgestaltung sind. Ihr erhaltet in den Berichten Antworten auf Fragen wie: Was macht man eigentlich in einer Ausbildung zum Technischen Assistenten? Wie kann ich mein Studium anpassen, wenn sich meine Berufsziele ändern? Welchen Herausforderungen muss ich mich stellen, wenn ich im Ausland studiere?

Ich wünsche Euch, dass Ihr alle Euren Weg findet.

Euer

*N.A. Baum*

[1] Softskill Seminar „BIO studieren – und was dann? Strategische Überlegungen für dein Biologie Studium“ ([https://www.youtube.com/watch?v=h5nT\\_ZOqQjk](https://www.youtube.com/watch?v=h5nT_ZOqQjk))



Biologie in unserer Zeit ist die Verbandszeitschrift des Verbandes Biologie, Biowissenschaften & Biomedizin in Deutschland – VBIO e.V. Mehr Informationen finden Sie im Internet unter [www.vbio.de](http://www.vbio.de).

**Verlag:**

Verband Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin in Deutschland – VBIO e.V.  
Corneliusstr. 12, 80469 München  
Telefon +49 (0)89/26 02 45 73  
Email: [biuz@vbio.de](mailto:biuz@vbio.de)

**Alleinvertretungsberechtigter Vorstand:**

Prof. Dr. Karl-Josef Dietz, Bielefeld (Präsident)  
Prof. Dr. Christian Lindermayr, Friedberg (Schatzmeister)

**Managing Editor:**

Dr. Larissa Tetsch (verantwortlich für den Inhalt),  
Steinröselweg 9, 82216 Maisach;  
Telefon +49 (0)81 41/8 88 06 27  
Email: [redaktion@biuz.de](mailto:redaktion@biuz.de)

**Editorial Board:**

Ralf Dahm, Mainz  
Harald Engelhardt, Martinsried  
Jacob Engelmann, Bielefeld  
Monika Hassel, Marburg  
Christian Körner, Basel  
Ortrun Mittelsten Scheid (Wien)  
Wolfgang Nellen, Kassel (Chief Editor)  
Hannes Petrischak, Wustermark  
Felicitas Pfeifer, Darmstadt  
Gabriele Pfitzer, Köln  
Margarete Radermacher, Odenthal  
Michael Riffel, Hirschberg  
Udo Schumacher, Hamburg  
Jennifer Selinski, Kiel  
Marco Thines, Frankfurt  
Björn von Reumont, Frankfurt

**Herstellung:**

Dr. Larissa Tetsch,  
Telefon +49 (0)81 41/8 88 06 27  
Email: [redaktion@biuz.de](mailto:redaktion@biuz.de)

**Anzeigenleitung:**

Dr. Carsten Roller, Corneliusstr. 12, 80469 München  
Telefon +49(0)89/26 02 45 73  
Email: [roller@vbio.de](mailto:roller@vbio.de)

**Mitglieder- und Abo-Service:**

VBIO e.V., Geschäftsstelle München,  
Corneliusstr. 12, 80469 München  
Telefon +49(0)89/26 02 45 73 · Fax +49(0)89/26 02 45 74  
Email: [mitgliederservice@vbio.de](mailto:mitgliederservice@vbio.de)

**Preise:**

Bibliotheken und Organisationen: Bitte Rückfrage  
Bei VBIO-Mitgliedschaft inklusiv  
<https://vbio.de/beitritt>

**Geschäftsstellen des Verbandes:**

**Geschäftsstelle München**

Dr. Carsten Roller, Corneliusstraße 12, 80469 München  
Telefon +49(0)89/26 02 45 73, [info@vbio.de](mailto:info@vbio.de)

**Geschäftsstelle Berlin**

Dr. Kerstin Elbing, Luisenstraße 58/59, 10117 Berlin,  
Telefon +49(0)30/27 89 19 16, [elbing@vbio.de](mailto:elbing@vbio.de)

**Satz:**

TypoDesign Hecker GmbH, Leimen.

**Druck und Bindung:**

ColorDruck Solutions, Leimen.

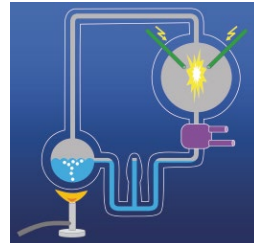
© VBIO e.V., München, 2024.

Printed in the Federal Republic of Germany.

ISSN 0045-205 X

# BIOLOGIE

3 | 2024 IN UNSERER ZEIT  
[www.biuz.de](http://www.biuz.de)



Stanley L. Miller machte sein legendäres Experiment im Jahr 1953: Damals zeigte er, dass sich in einer geschlossenen Apparatur, in der man eine hypothetische Uratmosphäre elektrischen Entladungen aussetzen konnte, Biomoleküle bilden. Zur Entstehung erster Lebensformen blieben aber weiterhin viele Fragen offen. Seitdem gibt es viele neue Erkenntnisse zum Ursprung des Lebens. Unser Autor wirft einen Blick auf die Stoffwechselprozesse, die am Anfang des Lebens gestanden haben könnten. Begleiten Sie ihn dabei ab S. 246. Abb.: Pascal Eitner.

## MELDUNGEN

206 **Forschung & Entwicklung, Wettbewerb, Ausstellungen, Preise & Auszeichnungen**

## POLITIK UND GESELLSCHAFT

211 **Ausprobieren und neue Erfahrungen sammeln!**

212 **Von Hannover nach Irland – ein Blick aus internationaler Perspektive**

215 **Von BTA zu MTLA – mein Weg in die Zytologie**

217 **Ars legendi-Fakultätenpreis Biologie 2024 für Nina Keul**

218 **Bauer Willis Kraut und Rüben: Mehr Kuhfladen in die Landschaft – oder: Was es mit dem Insektensterben auf sich hat**

## TREFFPUNKT FORSCHUNG

220 **Die Heilpflanze des Jahres 2024 aus tierökologischer Sicht**

223 **Tropenkrankheiten wandern nordwärts**

225 **Außerschulische Lernorte auf dem Gebiet der Mikrobiologie**

228 **Eisvogel – je schillernder, umso attraktiver**

229 **Mit Monet lernen, wie grauer Star das Sehvermögen ändert**

230 **275. Geburtstag von Edward Jenner**

232 **Artenreiche bukolische Landschaft – wie schaffen wir sie?**

## MAGAZIN

283 **Bücher und Medien**

288 **Partner des Menschen: Der Apfel als Lebensbegleiter**

292 **Mikroben verstehen: Wie die Zellwand von Archaeen ihre Funktion ausübt**

295 **Außerschulische Lernorte: Das MaxLab erleben – zuhause oder vor Ort**

298 **Kolumne: Der Unterlassungseffekt**

IM FOKUS

**235** Ein Botschafter gegen Artensterben und für Forschungsbedarf

Marc Gottschling, Urban Tillmann

**246** Über den Ursprung des Lebens

Wolfgang Buckel

**252** Unerwartete Vielfalt im Reproduktionsverhalten von *Calluna vulgaris*

Carsten Neumann, Vanessa Ochlast, Michelle Prauß

**260** Ätherische Öle in Lippenblütlern

Susanne Bickel

**274** Ein Co-Pädagoge auf vier Pfoten

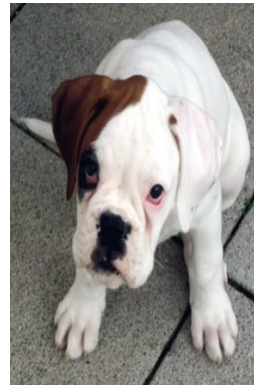
Martina Gerbig-Groß, Gregor Schroth

**235** Ein Botschafter gegen Artensterben und für Forschungsbedarf



Die Vielfalt von Einzellern ist gemessen an ihrer ökologischen Bedeutung bislang unzureichend erfasst. Gleichzeitig ist das Überleben dieser Vielfalt durch Umweltzerstörung und Klimawandel bedroht wie nie zuvor in der Erdgeschichte. Die 2022 zur Alge des Jahres gekrönte Aufsitzeralge *Styrodinium* steht stellvertretend für dieses Dilemma.

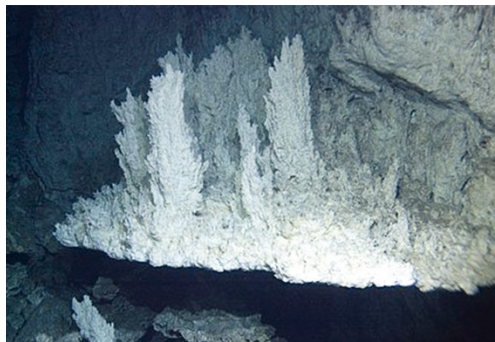
**274** Ein Co-Pädagoge auf vier Pfoten



Schulhunde sorgen für eine angenehme Lern- und Arbeitsatmosphäre, in der motiviert und angstfrei gelernt werden kann. Darüber hinaus gibt es viele Möglichkeiten, die Kognitionsleistungen des Hundes im Rahmen der Ethologie im Unterricht näher zu erforschen.

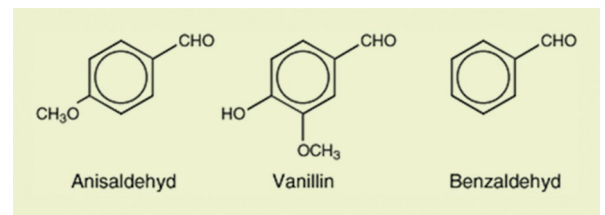
**246** Über den Ursprung des Lebens

Seit der Antike fragen Menschen nach dem Ursprung des Lebens. In den letzten 30 Jahren mehren sich die Hinweise, dass es autotrophe Stoffwechselwege waren, die vor vier Millionen Jahren in hydrothermalen alkalischen Schloten am Beginn des Lebens standen.

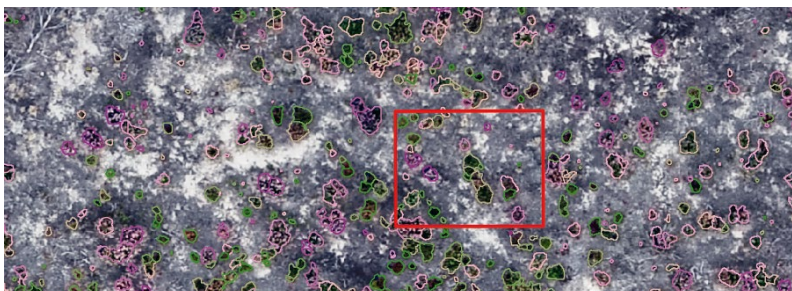


**260** Ätherische Öle in Lippenblütlern

Die in unseren Breiten häufigsten Blattgewürze stammen aus vier Pflanzenfamilien. Eine davon sind die Lippenblütler, die aufgrund ihrer hohen Konzentrationen an ätherischen Ölen viele Aroma-, Heil- und Duftpflanzen wie Rosmarin, Thymian, Oregano, Lavendel, Melisse und Minze stellen.



**252** Unerwartete Vielfalt im Reproduktionsverhalten von *Calluna vulgaris*



Bei genauerer Betrachtung zeigt die Besenheide (*Calluna vulgaris*) in der Kyritz-Ruppiner Heide im Spätsommer vielfältige Farbeindrücke. Drohnenbilder und Künstliche Intelligenz helfen, diese Diversität im Blühverhalten innerhalb einer Population sichtbar zu machen.

Der Akt der Befruchtung künstlerisch umgesetzt. Illustration: Philipp Beck.



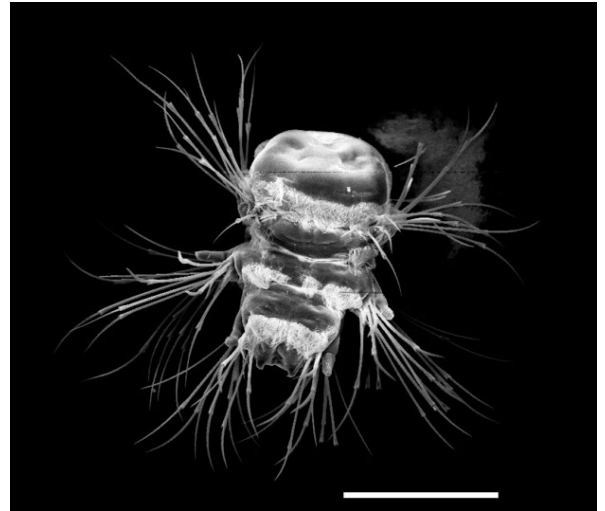
## FORSCHUNG & ENTWICKLUNG

Eine aktuelle Studie von Forschenden um Raffaele Teperino, Leiter der Forschungsgruppe „Umwelt-Epigenetik“ bei *Helmboltz Munich*, liefert neue Erkenntnisse darüber, wie Ernährung und Übergewicht von Vätern die Gesundheit ihrer Kinder beeinflussen können – schon vor der Zeugung. In die Studie gingen Daten von mehr als 3000 Familien der LIFE Child-Studie der Universität Leipzig ein. Im Mittelpunkt standen mitochondriale tRNA-Fragmente (mt-tsRNAs), die eine Schlüsselrolle bei der Vererbung von Gesundheitsmerkmalen spielen, indem sie die Genexpression regulieren. Bisher ging man davon aus, dass Väter keinen Anteil an der genetischen Veranlagung der Mitochondrien ihrer Nachkommen haben. Doch neuere Forschungen zeigen, dass Spermien bei der Befruchtung mt-tsRNA in die Eizelle tragen. Die Analysen zeigten, **dass das Körpergewicht des Vaters das Gewicht der Kinder und ihre Anfälligkeit für Stoffwechselkrankheiten beeinflusst** – und das unabhängig von anderen Faktoren wie dem Gewicht der Mutter, der elterlichen Genetik oder Umweltbedingungen. Experimente mit Mäusen bestätigten dies. So hatte eine Hochfetttdiät Auswirkungen auf die Geschlechtsorgane der Tiere und auch auf die Nebenhoden, in denen die frisch gebildeten Spermien heranreifen. „Unsere Studie zeigt, dass Spermien, die im Nebenhoden der Mäuse einer Hochfetttdiät ausgesetzt sind, zu Nachkommen mit erhöhter Neigung zu Stoffwechselerkrankungen führen“, sagt Teperino. „Dies ist das erste Mal, dass wir eine solche molekulare Verbindung über Generationen hinweg beobachten konnten.“ Die Erkenntnisse bieten neue Ansätze für die Gesundheitsvorsorge: „Unsere Ergebnisse legen nahe, dass die Gesundheitsvorsorge für Männer mit Kinderwunsch mehr Aufmerksamkeit erfahren und Programme dafür

entwickelt werden sollten, beispielsweise mit Blick auf die Ernährung“, so Teperino. „Damit lässt sich das Risiko von Erkrankungen wie Adipositas und Diabetes bei Kindern verringern.“  
[www.helmboltz-munich.de](http://www.helmboltz-munich.de)

Der Meeresringelwurm *Platynereis dumerilii* bewegt sich mithilfe von Borsten im Wasser fort. Diese bestehen aus  $\beta$ -Chitin, das etwas weicher ist als herkömmliches Chitin und damit für biomedizinische Anwendungen besonders interessant. Wie die Borsten gebildet werden, war bislang aber unklar. Eine neue interdisziplinäre Studie von Forschern um Florian Raible von den Max Perutz Labs an der Universität Wien hat dieses Rätsel nun gelöst. Raible erklärt: „Der Prozess beginnt bei der Borstenspitze, gefolgt vom Mittelteil und schließlich der Basis der Borsten. Dabei werden die fertigen Teile immer weiter aus dem Körper herausgeschoben. Bei diesem Entstehungsprozess werden also Stück für Stück die wichtigen Funktionseinheiten hintereinander erzeugt, das ähnelt einem 3D-Druck.“

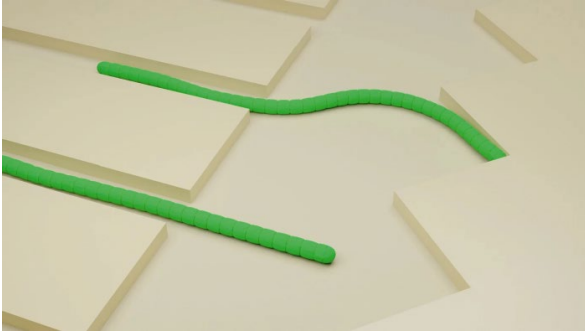
Sogenannte Chaetoblasten spielen dabei eine zentrale Rolle. Sie beherbergen in ihren Mikrovilli das Enzym für die Chitinsynthese. **Die einzelnen Mikrovilli haben dabei eine ähnliche Funktion wie die Spritzdüsen eines 3D-Druckers.** Florian Raible führt aus: „Die präzise Änderung der Zahl und Form der Mikrovilli über die Zeit ist der Schlüssel für die Ausformung der geometrischen Strukturen der einzelnen Borste, wie etwa einzelner Zähnen auf der Borstenspitze, die in ihrer Präzision bis unter den Mikrometerbereich reichen.“ Die Borsten entstehen in der Regel innerhalb von nur zwei Tagen und haben je nach Entwicklungsstadium des Wurms unterschiedliche Formen. Ein genaueres Verständnis für Prozesse wie diesen birgt auch Potenzial für die Entwicklung medizinischer Produkte oder die Herstellung natürlich abbaubarer Materia-



**Larve des Meeresringelwurms *Platynereis dumerilii*, Größenmaßstab: 100  $\mu\text{m}$ .** Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme: Luis Zelaya-Lainez, Technische Universität Wien.

len. So dient  $\beta$ -Chitin aus der Rückenschale von Tintenfischen momentan als Rohstoff für die Herstellung besonders verträglicher Wundverbände. „Vielleicht lassen sich in der Zukunft auch Ringelwurmzellen für die Herstellung dieses Materials nutzen“, so Raible.  
[www.univie.ac.at](http://www.univie.ac.at)

Cyanobakterien sind eine der ältesten und wichtigsten Lebensformen auf der Welt – nicht zuletzt, weil sie maßgeblich den Sauerstoff in unserer Atmosphäre erzeugt haben. Manche Arten bilden lange Fäden, die aus mehr als 1.000 Zellen zusammengesetzt sein können. Ein Forschungsteam um Stefan Karpitschka, Gruppenleiter am Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation und Professor an der Universität Konstanz, hat nun untersucht, wie sich diese fadenförmigen Bakterien fortbewegen. „Wir haben die Kraft während der Fortbewegung an einzelnen fadenförmigen Bakterien gemessen“, beschreibt Erstautor Maximilian Kurjahn den Ansatz. „Dabei haben wir festgestellt, dass sie bei Krafteinwirkung ab einer bestimmten Länge anfangen sich zu verbiegen, während kürzere Filamente gerade bleiben.“ Hierzu nutzten die Forscher/-innen einen speziellen Mikrofluidik-Chip, in welchem



**Ab einer Länge von etwa 150 µm beginnen fadenförmige Cyanobakterien abzuknicken, wenn sie auf ein Hindernis treffen.** Abb.: MPI-DS/Kurjahn.

die Bakterien in Kanäle gelenkt wurden und schließlich auf ein Hindernis trafen. Durch diesen Biegetest stellte sich heraus, dass die Fäden ab einer Länge von etwa 150 Mikrometern anfangen, abzuknicken. „Interessanterweise liegt die Länge der meisten Cyanobakterien ebenfalls in diesem Bereich“, berichtet Karpitschka. „Das bedeutet, dass sich durch leichte Veränderungen in der Länge bei einer Population deren Bewegung ändert. Dies deutet auf einen natürlichen Kipppunkt hin, mit dem die Bakterien ihr Verhalten an äußere Bedingungen anpassen.“ Cyanobakterien nutzen Sonnenlicht als Energiequelle und bieten hierdurch vielversprechende Anwendungen in der Biotechnologie. Als Bio-Sonnenkollektoren kann aus ihnen beispielsweise Biokraftstoff gewonnen werden. Durch ihre fadenförmige Struktur mit ähnlicher Dicke einer Carbonfaser könnten sie zudem **in adaptiven Biomaterialien eingesetzt werden, in welchen die Form durch Licht verändert werden kann.** Ein besseres Verständnis ihrer Bewegungseigenschaften trägt somit dazu bei, Cyanobakterien technologisch zu nutzen. [www.ds.mpg.de](http://www.ds.mpg.de)

Das Wollnashorn (*Coelodonta antiquitatis*) war über Tausende von Jahren ein ikonischer Vertreter der Steppenfauna Zentral- und Nordasiens, nachdem es sich vor etwa 2,5 Millionen Jahren im Tibetischen Hochland entwickelt hatte. Mit di-

cker Haut und langem, wolligem Fell war es an kalte Temperaturen angepasst und etwa so groß wie das heutige afrikanische Breitmaulnashorn. Wollnashörner beweideten die niedrige Vegetation in trockenen, offenen Landschaften und nutzten wahrscheinlich ihr Vorderhorn, um Nahrung unter einer dünnen Schneedecke freizulegen. Fossilien zeigen, dass das Wollnashorn bis vor etwa 35.000 Jahren in ganz Nordasien verbreitet war. Weshalb es vor etwa 10.000 Jahren ausstarb, war in der Forschung bisher umstritten – ein Einfluss des Menschen wurde aber kaum in Betracht gezogen. Die Studie eines internationalen Forschungsteams um Hervé Bocherens vom Senckenberg *Centre for Human Evolution and Palaeoenvironment* (SHEP) an der Universität Tübingen legt nahe, dass die Tiere bereits vor etwa 30.000 Jahren durch kühlere Temperaturen und eine niedrige, aber konstante Bejagung durch den Menschen in eine Sackgasse gerieten. Moderne Menschen, Neandertaler und andere Homininen lebten Zehntausende von Jahren mit den Wollnashörnern. **Im Schnitt dezimierten sie deren Population in jeder Generation um zehn Prozent.** Am Ende blieben vereinzelt Populationen übrig, die nach Süden gedrängt, isoliert und dadurch geschwächt waren. Mit der erneuten Erwärmung der Tem-

peraturen zu Beginn des Holozäns vor 11.000 Jahren waren die Wollnashörner dann in klimatisch für sie suboptimalen Gebieten ‚gefangen‘ und verschwanden am Ende vollständig.“ In den Ergebnissen ihrer Studie sehen die Forschenden auch wichtige Hinweise für den Schutz heutiger großer Wildtiere. [www.uni-tuebingen.de](http://www.uni-tuebingen.de)

Schall ist unter Wasser rund fünfmal schneller als an Land. Das macht ein Richtungshören für Taucher nahezu unmöglich, denn das menschliche Gehirn berechnet die Herkunft von Klängen unter anderem aus dem Zeitunterschied, mit dem sie beide Ohren erreichen. Fische hingegen können Schallquellen wie Beute oder Feinde orten. Nur wie gelingt ihnen das? Forschende der Charité – Universitätsmedizin Berlin um den Neurobiologen Benjamin Judkewitz haben nun den Hörmechanismus des etwa 12 Millimeter kleinen Fisches *Danio rerio* aufgeklärt. Letzterer lebt in Flussläufen des südlichen Myanmar. Wenn Schall von einer Quelle ausgeht, breitet er sich als Bewegungs- und als Druckschwingung im umgebenden Medium aus. Die Vibration von Luft- oder Wasserteilchen bezeichnet man als Schallschnelle. Zusätzlich ändert sich die Teilchendichte: Die Luft wird komprimiert, was man als



**Das ikonische Wollnashorn starb vor etwa 10.000 Jahren aus. Verantwortlich war offenbar die Bejagung durch den Menschen in Kombination mit klimatischen Veränderungen.** Abb.: Benjamin Langlois.





**Zwar hat *Danionella* das kleinste bekannte Wirbeltiergehirn, dennoch zeigt der Fisch eine Vielzahl komplexer Verhaltensweisen, einschließlich der Kommunikation durch Laute. Diese Tatsache und sein direkt einsehbares Gehirn – das Schädeldach fehlt, Kopf und Körper sind nahezu durchsichtig – machen ihn für die Hirnforschung interessant.** Foto: Charité/ Mykola Kadobianskyi.

Schalldruck messen kann. Menschen nehmen über das Trommelfell nur Schalldruck wahr, Fische dagegen auch die Schallschnelle: Mithilfe eines speziellen Laser-Scanning-Mikroskops, das die Strukturen des Fischohrs während einer Tonwiedergabe stroboskopartig abtastet, zeigte das Forscherteam zunächst, dass dafür die Ohrsteine verantwortlich sind. Diese kleinen kristallinen Strukturen im Innenohr bewegen sich aufgrund der Trägheit langsamer als die vibrierenden Wasserteilchen. Diese geringfügige Verzögerung wird von Sinneszellen im Ohr detektiert. Das Problem: Damit kann der Fisch lediglich die Achse bestimmen, entlang derer sich der Schall bewegt – nicht aber die Richtung, aus der er kommt. Durch gezielte Manipulation von Schalldruck und Schallschnelle fand das Forscherteam schließlich heraus, wie *D. cerebrum*. dieses Problem löst: „Schalldruck setzt die komprimierbare Schwimmblase in Bewegung, was wiederum von Haarzellen im Innenohr erkannt wird. Über diesen zweiten indirekten Hörweg liefert Schalldruck dem Fisch die notwendige Referenz für das Richtungshören“, sagt Prof. Judkewitz. Da sich der Hörapparat bei etwa zwei Dritteln der lebenden Süßwasserfische stark ähnelt, könnte dieser Mechanismus weit verbreitet sein.

[www.charite.de](http://www.charite.de)

## WETTBEWERB

Die Preisträger des von der Klaus Tschira Stiftung und der Sektion Fachdidaktik der Biologie im Verband Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin in Deutschland (FDdB im VBIO) geförderten Wettbewerbs BiUtopie (Biologie-Unterricht optimal innovativ entwickeln) stehen fest: Gewonnen haben die drei Biologie-Lehramtsstudierenden Johannes Decker, Laura Hillmann und Darius Nickel von der Universität Kassel. Den zweiten Platz belegten von der Freien Universität Berlin Alexandra Brell, Carlota Eisenhuth und Sophia Mihm. Der dritte Platz ging an Laurenz Grüneberg, Lena Helmrich und Luka Thiele-Stöhr von der Humboldt-Universität zu Berlin. Der 2024 erstmals ausgeschriebene **Wettbewerb soll**

**zur Stärkung evidenzbasierter Unterrichtsplanung beitragen** und den Transfer von theoretisch und empirisch fundierter Lehr-Lernforschung in die Praxis fördern. In der ersten Ausschreibungsrunde hatten Studierende von acht Universitäten und pädagogischen Hochschulen insgesamt elf Beiträge mit innovativen Ideen zum diesjährigen Wettbewerbsthema „Erkenntnisgewinnungskompetenzen fördern“ eingereicht. In Runde 2 konnten drei ausgewählte Teams ihre Unterrichtsplanungen präsentieren, anschließend ihre Stunden unterrichten und dann reflektieren. Die Unterrichtsentwürfe sollen nun zeitnah veröffentlicht werden, damit Lehrkräfte und letztlich vor allem die Schülerinnen und Schüler von den innovativen Ideen profitieren. Die nächste Ausschreibungsrunde steht unter dem Schwerpunkt „Bewertungskompetenz fördern“. Engagierte Teams aus jeweils drei Studierenden können ihre Beiträge bis zum 2. Dezember 2024 einreichen.

## AUSSTELLUNGEN

Das Gasometer Oberhausen präsentiert bis Ende 2024 mit seiner Ausstellung „Planet Ozean“ **die faszinierende Schönheit der Weltmeere und ihrer vielfältigen Lebensformen**. In verschiedenen Ausstellungskapiteln führt dafür die höchste Ausstellungshalle Deutsch-



**Die Preisträger des BiUtopie-Wettbewerbs 2024.** Foto: FDdB/VBIO.

## PREISE &amp; AUSZEICHNUNGEN



**Ausgezeichnete Mikrobiologin  
Prof. Dr. Yvonne Mast.** Foto: DSMZ.

Im Rahmen der diesjährigen *Leibniz Conference on Bioactive Compounds* erhielt Yvonne Mast, Leiterin der Abteilung Bioressourcen für Bioökonomie und Gesundheitsforschung des Leibniz-Instituts DSMZ-Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH und Professorin am Institut für Mikrobiologie der Technischen Universität Braunschweig, die Auszeichnung Leibniz-Wirkstoff des Jahres 2024. Ihre DSMZ-Arbeitsgruppe erhielt die Auszeichnung gemeinsam mit Forschenden der Universität Stuttgart, Universität Göteborg sowie Kollegen vom Helmholtz Zentrum für Infektionsforschung in Braunschweig Ende April 2024 für eine Studie, die **einen neuen gentechnologischen Ansatz zur Derivatisierung von Wirk-**

**stoffen** beschreibt. Hierbei handelt es sich um ein biotransformationsgekoppeltes Mutasynteseverfahren zur Herstellung neuer Pristinamycin-Derivate. Die Substanz Pristinamycin ist ein vom Bakterium *Streptomyces pristinaespiralis* hergestelltes Antibiotikum. Die *Leibniz Conference on Bioactive Compounds* wird vom Leibniz-Forschungsnetzwerk Wirkstoffe veranstaltet. Sie bietet Forschenden die Gelegenheit zum Dialog untereinander und mit Vertretern der Industrie. Gastgeber war in diesem Jahr das Leibniz-Institut für Altersforschung – Fritz-Lipmann-Institut (FLI) in Jena. Am 24. und 25. April trafen sich 70 Forschende aus der ganzen Welt in der Thüringer Forschungsmetropole.

[www.leibniz-wirkstoffe.de](http://www.leibniz-wirkstoffe.de)

lands anhand von teilweise noch nie gesehenen großformatigen Fotografien und Filmen in kaum bekannte Tiefen dieses komplexen Ökosystems. Da tanzt dann ein Harlekin-Oktopus munter durch die Lagune von Mayotte, gibt es direkten Blickkontakt mit einem Blauhai oder beobachtet ein niedlicher Seelöwe den

kunstvoll getarnten Fetzenfisch. Daneben beschäftigt sich „Planet Ozean“ auch mit den wichtigen Bereichen Meeresschutz und -forschung. Hierfür steht der neuen Schau mit dem Deutschen Meeresmuseum ein versierter Partner zur Seite, dessen wissenschaftliche Expertisen das inhaltliche Fundament

bilden. Dank modernster Technologien ist es heute möglich, die steten Veränderungen unserer Ozeane detailliert zu erfassen. Diese Datenmengen vermittelt der Gasometer Oberhausen mit dem „Ocean Twin“: Beim vom *Environmental Systems Research Institute* (kurz ESRI) entwickelten Zwilling der Weltmeere handelt es sich um einen interaktiven Globus, der als geografisches Informationsnetzwerk aktuellste Erkenntnisse visualisiert. Dramaturgischer Höhepunkt der neuen Schau „Planet Ozean“ ist die immersive Inszenierung „Die Welle“ von *Ars Electronica Solutions*. Installiert im Luftraum des Gasometers, dient die 40 Meter hohe und 18 Meter breite Leinwand in L-Form als Projektionsfläche für eine fotorealistic animierte Meereswelt. Ganz ohne Taucheranzug und Atemmaske können die Besucher/-innen hier auf Augenhöhe mit Walen, Fischen oder auch Quallen den Ozean ergünden.

[www.gasometer.de](http://www.gasometer.de)

Das Meeresmuseum als außerschulischen Lernort stellen wir Ihnen in *BiuZ 2/22* vor.



**Korallenexponate im Gasometer.** Foto: Thomas Wolf.

## ORIENTIERUNG IM BIO-STUDIUM

## Ausprobieren und neue Erfahrungen sammeln!

*Mit diesem Bericht von meinem Biologie-Studium möchte ich dazu ermutigen, zusätzliche – auch interdisziplinäre – Erfahrungen zu sammeln – vielleicht auch mutig Wege versuchsweise zu gehen. Insbesondere wenn es um die Spezialisierung in einem bestimmten Forschungsbereich geht, rate ich: „Probiert aus und setzt Eure eigenen Vorstellungen um.“*

Letztendlich steht man immer wieder vor der Frage, wie die eigene Tätigkeit für die kommenden Jahre aussehen soll und womit man sich später im Leben beschäftigen möchte. Generell hatte ich schon immer eine grobe Vorstellung, wie mein Werdegang aussehen sollte: Ich wollte definitiv in die Wissenschaft gehen, zumindest war dies so meine Vorstellung, seit ich denken konnte. Ich begann meinen Weg in der Transfusionsmedizin der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH), weil ich während des Abiturs ein Interesse am Immunsystem entwickelt hatte, das ich als Themenfeld in der „Transfusionsmedizin“ wiederfand. Aus diesem Grund absolvierte ich mein Freiwilliges Wissenschaftliches Jahr (FWJ) an der MHH und unterstützte während dieser Zeit die Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Eiz-Vesper dabei, ihr T-Zell-Spende-Register weiter auszubauen. Dabei erlernte ich verschiedene Methoden, beispielsweise Antigen-

spezifische T-Zellen nachzuweisen und zu sortieren.

Angeregt durch die Suche nach Wissen und der Breite von dem, was nicht genau bekannt ist, stellte ich fest, dass mein Interesse in der Wissenschaft lag. Dies bewegte mich dazu, zu studieren.

### Bachelor-Studium in Hannover

Da ich schon länger ein Interesse an der belebten Umwelt hatte und die Biologie mir die größte Querschnittsmenge zwischen meinen Interessen und Fähigkeiten zu bieten schien, schrieb ich mich für den Bachelor in der Biologie an der Leibniz-Universität Hannover (LUH) ein. Dabei reizte mich, eine breit gefächerte naturwissenschaftliche Grundlage mit hohem Praxisbezug kennenzulernen. Zwar war es tatsächlich interessant, einen großen Überblick zu erlangen, doch wurde mir schnell bewusst, dass mein Interesse nicht in der Botanik oder in der generellen Systematik der

Tiere liegt. Vielmehr rückte das System des Menschen mit all seinen Facetten für mich in den Fokus.

Daher ging ich nach Durchführung der allgemeinen Module Chemie, Botanik und Systematik im letzten Semester über Wahlmodule gezielt weiter in die Biochemie und in die Neurobiologie. Da ich aber noch näher an die biomedizinische Forschung wollte, setzte ich den Schwerpunkt meiner Bachelorarbeit an einen Schnittpunkt zwischen Immunologie und Virologie im Institut für Zelluläre Biochemie der MHH. Dort untersuchte ich im Team von Dr. Mark Windheim die Bindungskapazitäten eines adenoviralen Proteins und wie dieses mit T-Zellen bei der Immunevasion interagiert. Jedoch stellte ich fest, dass ich einen stärkeren Bezug zum Menschen suchte und mich intensiver mit den Vorgängen im menschlichen Körper beschäftigen wollte.

### Im Master-Studium ins Ausland

Deswegen entschied ich mich, den Masterstudiengang der Biomedizin an der MHH zu durchlaufen. Dieser Studiengang gab mir einen guten Einblick in die Welt an und um die MHH und setzte Schwerpunkte in biochemischen und medizinischen Bereichen, in denen ich später forschen wollte. Glücklicherweise konnte ich dann im Rahmen des Masterstudiums ein Auslandssemester über das Programm ERASMUS+ einbauen. Auf Island arbeitete ich in der biophysikalisch ausgerichteten Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Hreidarsson, welche Molekülinteraktionen mittels Lasermikroskopie untersuchte. Dies ermöglichte mir, die *single-molecule fluorescence resonance energy transfer* (smFRET)-Mikroskopie kennenzulernen, mit der wir einen Blick auf ungeordnete Transkriptionsfaktoren und deren Interaktion mit dem Chromatin warfen. Obwohl mich das übergreifende Thema interessierte, konnte ich leider keinen tieferen Bezug zur Physik aufbauen.

### MEIN WERDEGANG



*Ich bin Niclas Ritter. Nachdem ich mich erstmals im freiwilligen wissenschaftlichen Jahr in der Wissenschaft erproben durfte, hatte dies mein Interesse für ein Studium geweckt. Im folgenden Biologiestudium und dem darauffolgenden Master habe ich versucht, verschiedene Disziplinen kennenzulernen, auch wenn diese themenfremd voneinander lagen, um mir eine breitere Perspektive zu schaffen. Gerade befinde ich mich in meiner Masterarbeit in der Virologie der Medizinischen Hochschule Hannover und hoffe, dass ich mich mit meinem momentanen Thema noch länger beschäftigen kann.*

Durch diese Erfahrung war ich bereits etwas weiter vom *wet-lab* (Nasslabor) entfernt und beschäftigte mich stärker mit computergestützten Arbeiten (*in silico*), – ein Grund für mich, in die Bioinformatik einzusteigen. Vor kurzem konnte ich durch ein Laborpraktikum in diese Richtung in der Virologie beginnen. Dabei befasste ich mich mit der Kategorisierung der Termini im Genom des Varizella-Zoster-Virus (VZV) – ein DNA-Virus aus der Familie der Herpesviren (Herpesviridae), das beim Menschen Windpocken und Gürtelrose (Herpes zoster) hervorruft. In meiner anstehenden

Masterarbeit untersuche ich, ob eine VZV-Infektion Veränderungen im FOXP3-Lokus in regulatorischen T-Zellen auslöst, um weitere Einblicke in die persistierende Infektion zu erhalten. Noch bin ich unentschlossen, ob und in welcher Richtung ich promovieren möchte.

### Mein Fazit

Bisher hat es mich fachlich sehr weitergebracht, Einblick in mir neue Themenfelder zu gewinnen und mich breiter aufzustellen, wobei eine Triebfeder dafür auch eine stark ausgeprägte Neugierde war.

Mit diesem Beitrag möchte ich herausstellen, dass Studierenden mit einem grundständigen Biologie-Studium viele Möglichkeiten offenstehen. Ihr könnt (und solltet) Euren eigenen Vorstellungen folgen, um herauszufinden, was Euch Spaß macht und was Euch wirklich interessiert. Außerdem gibt es immer Möglichkeiten, jenseits der eigenen Hochschule Erfahrungen zu sammeln, von der dann nicht nur Ihr, sondern später auch Eure Kolleg/-innen profitieren können. Teilt Eure Erfahrungen!

Niclas Ritter, Hannover

## AUSLANDSSTUDIUM

### Von Hannover nach Irland – ein Blick aus internationaler Perspektive

**2022 habe ich meinen Bachelor-Studiengang in Biologie an der Leibniz Universität Hannover (LUH) abgeschlossen. Derzeit absolviere ich einen Master-Studiengang in Marine Biology am University College Cork (UCC) in Irland. Der Studiengang ist besonders international ausgerichtet und setzt auf kleine Kurse von unter 20 Studierenden. In diesem Beitrag möchte ich meine Erfahrungen und Perspektiven teilen und einen Einblick in die Möglichkeiten eines Masterstudiums im Ausland geben.**

Zunächst ein persönlicher Rückblick zu den Herausforderungen meines bisherigen Biologiestudiums: Während meines Bachelorstudiums in Hannover lernte ich die Vielfalt der Biologie kennen. Von Botanik und Mikrobiologie bis hin zu Humanphysiologie und Zoologie – das Studium bot einen breiten Einblick in die verschiedenen Disziplinen der Lebenswissenschaften. Neben Vorlesungen und Kursen prägten vor allem die Praktika mein Studium. So konnte ich praktische Erfahrungen im Labor, in der Feldarbeit und in verschiedenen Forschungseinrichtungen an der Tierärztlichen Hochschule (TiHo) und an der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH) sammeln.

Meine Bachelorarbeit verfasste ich an der TiHo im Institut für Tierökologie, in welchem ich bereits mehrere Kurse wie Zoologische Systematik und Tierartenkenntnis oder Artenschutz und Umweltpolitik belegt hatte. Hierzu gehörte auch eine Exkursion in den Süden Frankreichs, auf der die Student/-innen mehr über Ökologie und Artenschutz lernen können. Die Arbeit auf Englisch zu schreiben, war eine gute Vorbereitung auf mein Masterstudium im Ausland. Der Wechsel ins Ausland bedeutete allerdings auch, dass ich Freunde und Familie in Deutschland zurücklassen musste. Hier in Irland habe ich jedoch neue Freund/-innen gefunden, vor allem meine Kommiliton/-innen im *Master of Science* (MSc)-Kurs. Wir unter-

nehmen viel gemeinsam wie zum Beispiel Wandern, Schwimmen, Filmabende und den obligatorischen Weg zum *Irish Pub* am Ende eines anstrengenden Tages. Wir sind über das letzte Jahr zu einem großartigen Team zusammengewachsen.

### Der Übergang zum Masterstudium

Schon während meines Bachelorstudiums stand für mich fest, dass ich im Anschluss einen Master in *Marine Biology* absolvieren möchte, da mich die Meeresbiologie besonders fasziniert. Ich bewarb mich daher an verschiedenen Universitäten in Europa in Küstennähe. Während meines Bachelorstudiums und nach meinem Abschluss in Hannover habe ich am Wochenende gearbeitet und zusätzlich Auslands-BAföG beantragt, um mein Masterstudium zu finanzieren. Das UCC in Cork war eine meiner Top-Universitäten und überzeugte mich durch seinen internationalen Studiengang, die moderne Ausstattung und die Lage an der irischen Südküste. Der Wechsel an eine neue Universität und in ein neues Land war natürlich mit einigen Herausforderungen verbunden. So musste ich mich an ein neues Bildungssystem und eine neue Sprache gewöhnen.

## Kurse und Praktika im Masterstudium

Der Masterstudiengang in *Marine Biology* am UCC ist stark praxisorientiert. So nahmen wir an verschiedenen Surveys an der Küste Irlands teil, führten wissenschaftliche Arbeiten auf Forschungsschiffen (Abbildung 1) durch und besuchten Lachsfarmen und Aquakulturanlagen. In zertifizierten Kursen erwarben wir zudem wichtige praktische Fähigkeiten wie z. B. den SRC-Funkschein (SRC steht für *Short Range Certificate*) und den Motorbootführerschein. Diese Kurse sind fester Bestandteil des Programms und waren einer der Hauptgründe für meine Wahl des Studiengangs.

Neben den praktischen Übungen gab es interessante und lehrreiche Vorlesungen. Hausarbeiten mussten regelmäßig zu bestimmten Themen bearbeitet werden – wie z. B. eine *Population Viability Analysis* (PVA). Eine PVA untersucht die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen bekannten Faktoren und bewertet die Wahrscheinlichkeit, dass eine Population innerhalb eines bestimmten Zeitraums und unter bestimmten Umständen ausstirbt. Dabei waren in unserem Fall Computersimulationen und einfache mathematische Modelle erforderlich.



ABB. 1 Deck des irischen Forschungsschiffes „Tom Crean“.

Ein weiteres Projekt war das Design eines wissenschaftlichen Posters zu einem selbstgewählten Thema im Bereich „*marine disasters*“, das wir am Ende auch als Vortrag halten mussten. Da mir Vorträge mit am meisten gefallen, war dies eine meiner liebsten Aufgaben. Zusätzlich schrieben wir auch mehrere Berichte, die thematisch zum jeweiligen Modul passten. Dabei hatten wir oft die Freiheit, unser eigenes Thema zu wählen, was uns ermöglichte, unsere individuellen Interessen tiefer zu erforschen und die unserer Kommiliton/-innen kennen zu lernen. Präsentationen zu unseren Arbeiten und Exkursionen mussten ebenfalls vorbereitet und gehalten werden, was unsere Kommunikationsfähigkeiten stärkte und uns auf künftige wissenschaftliche Herausforderungen vorbereitete.

In den Laboren frischen wir unsere praktischen Kenntnisse aus dem Bachelorstudium auf und lernten neue Analysemethoden kennen. Ein besonders interessantes Beispiel aus unserer Laborarbeit war die Anwendung der Histologie. Diese Analysemethode, die ich auch während meiner Masterarbeit gerade intensiv nutze, beinhaltet das präzise Schneiden und Färben von Gewebeproben, um deren mikroskopi-

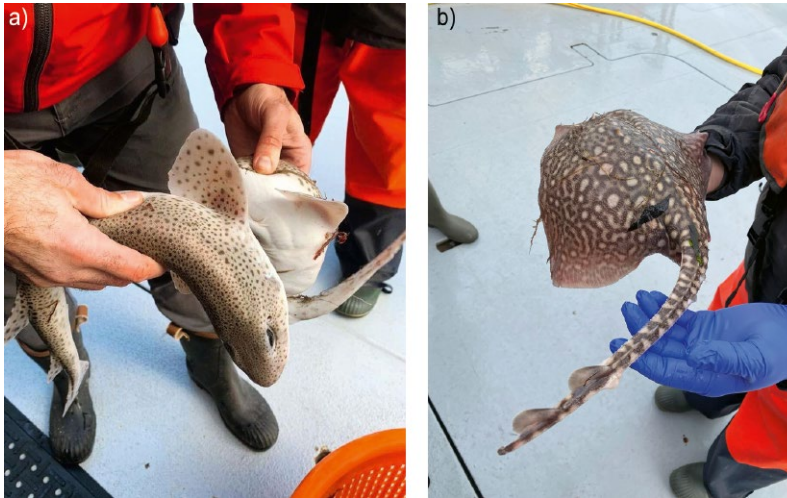


ABB. 2 Einige meiner Kommiliton/-innen und ich während der Beobachtung von Delfinen, Schweinswalen und Seevögeln für das Modul „Marine Megafauna“.

sche Struktur zu untersuchen. Durch die Verwendung von speziellen Färbetechniken können unterschiedliche Zelltypen und Gewebestrukturen sichtbar gemacht werden. Das ermöglicht uns, detaillierte Einblicke in die biologische Beschaffenheit und die pathologischen Veränderungen von Organismen zu gewinnen. Aufgrund der eingesetzten Geräte und der Verwendung verschiedener Chemikalien erfordert die Histologie zudem ein gewisses Maß an Laborerfahrung.

Wichtig im Studium war auch die Anwendung von Computerprogrammen und Programmiersprachen wie GIS oder R. GIS steht für „Geoinformationssysteme“ und umfasst verschiedene Methoden und Tools zur Erfassung, Bearbeitung, Organisation, Analyse und Visualisierung von räumlichen Daten. R ist eine freie Programmiersprache für statistische Berechnungen und Grafiken.

Der Schwerpunkt des Studiengangs am UCC liegt auf den Lebensräumen des Atlantiks von Nord- bis Südeuropa. So befassten wir uns mit Themen wie Aquakultur, Megafauna und Seevögeln rund um Irland und das Vereinigte Königreich (Abbildungen 2 und 3). Neben den Vorlesungen unserer Professor/-innen fanden auch Gastvorlesungen von Forschenden und ehemaligen MSC-



**ABB. 3** Vertreter der untersuchten Megafauna: a) Kleingefleckte Katzenhaie (*Scyliorhinus canicula*) und b) ein Nagelrochen (*Raja clavata*).

Studierenden statt. Diese gaben uns Einblicke in ihre aktuellen Forschungsprojekte und stellten uns mögliche Karriereentwicklungen nach dem Studium vor. Es wurde großer Wert auf eigenständige Arbeit gelegt. So planten und führten wir viele unserer Surveys selbstständig durch – wie etwa die Organisation der Datenerhebung, die Analyse der Ergebnisse und das Schreiben von Berichten. Im späteren Verlauf des Studiums konnten wir zwar immer den Rat unserer Professor/-innen einholen, aber die Verantwortung für unsere Arbeit lag letztendlich bei uns selbst.

### Survivaltraining, Funkschein und Powerboat training

Bevor die eigentliche Arbeit auf dem Meer starten konnte, mussten wir zunächst ein Survivaltraining und den dreitägigen SRC-Funkschein im *National Maritime College* absolvieren. In einer realitätsnahen Umgebung mit Pool, diverser Equipment und simulierten Wetterbedingungen (Sturm, Regen, Dunkelheit, Blitze) lernten wir unter Anleitung erfahrener Ausbilder/-innen, in Notfallsituationen auf dem Meer richtig zu handeln. Dazu gehörte unter anderem das Anlegen von Rettungsanzügen, der sichere Umgang mit dem Rettungsboot und die Handhabung der

Notausrüstung. Besonders spannend war die Übung mit dem *Search and Rescue Transponder (SART)*, bei der wir lernten, dieses Gerät im Ernstfall korrekt zu aktivieren, um von Suchtrupps lokalisiert zu werden. Zusätzlich lernten wir den Einsatz des *Emergency Position-Indicating Radiobeacon (EPIRB)*. Hierbei mussten wir das Notsignal auslösen, um im Ernstfall unsere Position über Satelliten bestimmen zu lassen. Darüber hinaus übten wir mit dem *Liferaft Emergency Kit*, das unter anderem eine Überlebensausrüstung, aber auch Leuchtfackeln enthält, um in einem Rettungsboot möglichst gut auf uns aufmerksam zu machen und alle Personen an Bord zu versorgen. Diese Szenarien haben uns gezeigt, wie entscheidend das Training für das Überleben auf See ist. Nach bestandenen Prüfungen erhielten wir das Survivaltraining-Zertifikat und den SRC-Funkschein, der uns befähigt, an Bord von Schiffen im UKW-Funkverkehr zu kommunizieren.

Anschließend erwarben wir in einem dreitägigen *Powerboat training* die notwendigen Kenntnisse und Fähigkeiten für das Führen von Motorbooten. Im lokalen *Outdoor Education Center* erhielten wir zunächst theoretischen Unterricht in Kartenkunde, Verkehrsregeln und

der technischen Ausstattung. Nach den ersten Übungen auf dem Wasser, bei denen die Grundlagen der Bootssteuerung geübt wurden, ging es am Nachmittag hinaus aufs Meer, wo wir unter Anleitung der Ausbilder/-innen verschiedene Manöver trainierten, darunter auch das anspruchsvollste: Einparken. Am Ende des ersten Tages waren wir bereits für das Highspeed-Training, bei dem wir Geschwindigkeiten von bis zu 30 Knoten (ca. 55 km/h) erreichten, qualifiziert.

### Marine Biodiversitätsforschung im Herzen der schottischen Inseln

Den Abschluss unseres Studiums bildete eine zehntägige Exkursion auf die schottische Insel Great Cumbrae, Millport. Im Rahmen eines Langzeitforschungsprojekts unserer Professor/-innen zur marinen Biodiversität sammelten wir Daten an verschiedenen Küstenabschnitten (*rocky shores*) und im marinen Benthos. Die tägliche Routine beinhaltete die Probenahme und Bestimmung von Organismengruppen, die Kartierung der Standorte und die Dokumentation der Umweltparameter. Die gesammelten Daten dienen der Erforschung der langfristigen Veränderungen der marinen Biodiversität in diesem Gebiet. Zusätzlich zu den landbasierten Arbeiten führten wir auch Fahrten mit einem Forschungsschiff durch, um Proben aus dem marinen Benthos zu entnehmen. Abseits der Datenerhebung nutzten wir die Gelegenheit, die einzigartige Landschaft der Insel zu erkunden und die lokale Kultur kennenzulernen. Ein gemeinsamer Pub-Abend mit unseren Professor/-innen, der ein Pub-Quiz und Karaoke beinhaltete, rundete die Exkursion ab.

### Perspektiven auf die Zukunft: Die Masterarbeit und darüber hinaus

Das UCC bietet verschiedene Kurse und Beratungsgespräche zur Karriereentwicklung an. In Gastvorlesungen von ehemaligen Studierenden

## MEIN WERDEGANG



*Ich bin Leonie, derzeit Studentin im Masterstudien-  
gang Marine Biology am University College of  
Cork in Irland. Mein Bachelorstudium absolvierte  
ich an der Leibniz Universität Hannover. Mein  
Weg führte mich im Bachelor durch verschiedene  
Bereiche der Biologie, doch meine Leidenschaft  
gilt vor allem dem Leben im Meer und dem  
Schutz seiner Vielfalt. Seit einiger Zeit engagiere  
ich mich als Marine Education Volunteer beim  
Cork Nature Network, wo ich meine Begeiste-  
rung und Wissen für die Küstenumwelt mit  
Schulklassen teile und sie für verantwortungs-  
volle Erkundungen begeistere. In Hannover  
unterstütze ich weiterhin jedes Jahr das Institut  
für Tierökologie für die Exkursion im Bereich*

*Naturschutz und Ökologie, das ich vor einigen Jahren auch als Bachelor-Studentin  
belegt hatte. Mit meinen neugewonnenen Erfahrungen und Fähigkeiten hoffe ich  
auch in Zukunft weiter zu forschen und auch weiterhin an Erfahrung zu gewinnen,  
wo immer es auch hingehet.*

und Forschenden erhielten wir Einblicke in verschiedene Berufsfelder und Karrierewege.

Meine Masterarbeit befasst sich mit einem Thema aus dem Bereich der Fischerei und Nachhaltigkeit. Die Auswahl an Themen war vielfältig und so konnte jeder Student bzw. jede Studentin ein passendes Projekt finden. Auf diese Weise können Studierende individuell sehr unterschiedliche Projekte durchführen, die von der Erforschung von Seevögeln an den Klippen Wexfords bis hin zur Untersuchung von Plankton im Natur-

schutzgebiet Lough Hyne reichen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, ein eigenes Thema vorzuschlagen und umzusetzen. Dabei sind die Studierenden nicht an einen bestimmten Ort gebunden. Die Arbeit selbst ist sowohl praktisch als auch theoretisch angelegt und ermöglicht es uns, unser Wissen und unsere Fähigkeiten in der Praxis anzuwenden.

### Schlussfolgerungen und Ermutigung

Das Biologiestudium hat mir sowohl fachlich als auch persönlich viel

gebracht. Ich habe gelernt, eigenständig zu denken und zu arbeiten, Probleme zu lösen und Ergebnisse zu präsentieren. Außerdem bot mir dieses Studium auch noch großartige andere Qualifizierungsmöglichkeiten – u. a. solche, die ein sicheres Forschen im eigenen Boot auf See gewährleisten. In meinem Masterstudium im Ausland konnte ich meine Kenntnisse in der Meeresbiologie erheblich vertiefen und neue Erfahrungen sammeln; zudem habe ich mein wissenschaftliches Englisch deutlich verbessert. Diese Sprachkenntnisse sind in der internationalen Forschung ein großer Vorteil, da sie den Austausch mit Kolleg/-innen weltweit erleichtern und neue berufliche Möglichkeiten eröffnen.

Ich bin also mit Blick auf die Zukunft gut aufgestellt und möchte mit diesem Bericht alle Biologiestudierenden ermutigen, ihren eigenen Weg zu finden und die Herausforderungen des Studiums als Chance zur persönlichen und fachlichen Weiterentwicklung zu nutzen. Seid offen für Neues – auch bei scheinbar zunächst Schwierigem – und probiert Euch aus! Das Biologiestudium bietet vielfältige Möglichkeiten und Perspektiven für die Zukunft.

*Leonie Piecha, Cork*

## AUSBILDUNG

## Von BTA zu MTLA – mein Weg in die Zytologie

*Mir begegnen immer wieder Menschen, die den Weg einer zweiten Ausbildung gegangen sind. Oft haben sie dafür Angst und Vorurteile überwunden und die meisten fühlten sich zu alt. So war es auch bei mir, als ich mich für eine zweite Ausbildung entschied. Ich startete als Biologisch-Technische Assistentin (BTA) und darauf folgte eine Ausbildung zur Medizinisch-Technischen Laboratoriumsassistentin (MTLA) mit einer Zusatzqualifikation zur Zytologieassistentin (ZA).*

Ich arbeite in der Pathologie in Detmold im Bereich der Zytologie und Gynäkologie. Dort suche ich z. B. in gynäkologischen Abstrichen nach

Zellkernveränderungen, sogenannte Dysplasien, führe PCR-Tests auf Infektionen mit Humanen Papillomviren (HPV) durch und erstelle zytolo-

gische Präparate. HPV ist ein weit verbreitetes, sexuell übertragenes DNA-Virus mit mehr als 100 Genotypen. Etwa 80 Prozent der Bevölkerung infizieren sich im Laufe ihres Lebens damit. HPV kann Kondylome und/oder Gebärmutterhalskrebs hervorrufen; außerdem steht es in Verdacht weitere Karzinomarten zu begünstigen. Die Polymerase-Kettenreaktion (PCR) ist unter den sogenannten Nukleinsäure-Amplifikationstechniken (NAT) die wichtigste Labormethode zur Untersuchung der molekularen Feinstruktur der Erbsubstanz. Wir wenden sie an, um eine HPV-Infektion nachzuweisen und gegebenenfalls den Genotyp zu

ermitteln, da es sogenannte High-Risk-Typen gibt, die häufig Dysplasien verursachen.

### Ausbildung zur BTA

Die dreijährige Ausbildung zur Biologisch-Technischen Assistentin (BTA) ist eine schulische Ausbildung, die ich an einem privaten Institut absolvierte. Ich fand vor allem den praktischen Unterricht spannend, in dem wir z. B. chemisch-analytische Verfahren oder Methoden der Mikrobiologie erlernten. Dort arbeiteten wir viel an technischen Geräten, zum Beispiel dem Flammenphotometer, das zur quantitativen Analyse von Alkalimetallen dient. Die chemischen Anteile in Probenmaterial zu ermitteln, ist eine der Aufgaben einer BTA. Auch fand ich die Botanik toll, wo wir Frühblüher bestimmt haben oder Pflanzen mit einer handelsüblichen Rasierklinge hauchdünn geschnitten haben, um sie anschließend zu mikroskopieren und zu zeichnen.

### Highlight – ein Großprojekt für den NABU

Ein absolutes Highlight war ein Großprojekt, das übergreifend mit allen anderen Auszubildenden an meiner Schule lief: Für den Naturschutzbund Deutschland (NABU) sollten wir die Bückeburger Niederung untersuchen. Während die Chemisch-Technischen Assistent/-innen (CTA) für Analysen der verschiedenen Gewässerabschnitte zuständig waren, begutachteten die Umwelt-Technischen Assistent/-innen (UTA) die Böden und wir BTAs machten eine Bestandsaufnahme der Flora und Fauna. Meine

### MEIN WERDEGANG



*Ich bin Elena Böger. Schon früh wusste ich, dass ich einen Beruf ergreifen will, der Menschen hilft und der in der Forschung oder Medizin zu Hause ist. 2014 absolvierte ich meine BTA-Ausbildung an einem privaten Institut und 2020 beendete ich erfolgreich meine Ausbildung zur MTLA mit Zusatzqualifikation an der Medizinischen Hochschule Hannover.*

Gruppe fand dabei neben Insektenlarven, Kaulquappen und Käfern sogar einen Enteneigel. Ein solches Exemplar fand nur meine Gruppe in dem Biotop. Die Ergebnisse dieser Exkursion wurden anschließend von unseren Auszubildenden im Bereich Informatik ausgewertet. Das Resultat war ein Bericht mit Verbesserungsvorschlägen zur Erhaltung des Naturschutzgebietes, den wir an den NABU übergaben. Viele meiner BTA-Kolleg/-innen arbeiten übrigens mittlerweile in Agrarfirmen, Kläranlagen, aber auch in Pharmaunternehmen.

### Zweite Ausbildung zur MTLA mit Zusatzqualifikation

Nach drei Jahren im Arbeitsleben entschied ich mich zur Ausbildung als Medizinisch-Technische Laboratoriumsassistentin (MTLA) an der Medizinischen Hochschule Hannover. Dort hatte ich die Möglichkeit,



**ABB. 1** Beispiel für eine histologische Färbung.

auch noch die Zusatzqualifikation als Zytologieassistentin zu erwerben. In der gynäkologischen Zytologie lernte ich das Mikroskopieren von gynäkologischen Präparaten, zytologische Färbemethoden und die Unterscheidung der verschiedenen Dysplasie-Stufen und Karzinome.

### Meine Arbeit in der Pathologie

Nach meinem Abschluss als MTA mit Zusatzqualifikation bekam ich eine Stelle in der Pathologie in Detmold. Dort wird in der Histologie Gewebe, das meistens von lebenden Patient/-innen stammt, präpariert, geschnitten und je nach Bedarf gefärbt (Abbildung 1). In der Zytologie werden aus dem Zellmaterial diverser Körperflüssigkeiten wie Urin oder Bronchialflüssigkeit Präparate angefertigt. Diese werden gefärbt und zur Befundung an die Patholog/-innen verteilt.

Sehr sorgfältig färbe ich gynäkologische Präparate und begutachte sie unter dem Mikroskop. Dabei achte ich auf feinste Veränderungen der Zellen, der Zellkerne und des Mikrobioms, um Krebsvorstufen frühzeitig zu erkennen. Das Mikrobiom – in der Gynäkologie auch Flora genannt – sind natürlich vorkommende Bakterien, die die Vagina vor schädlichen Erregern schützen. Ich arbeite gründlich und gewissenhaft, um dabei zu helfen Leben zu retten!

Ich empfehle Euch, nicht vor einem anderen Weg zurückzuschrecken, nur weil dieser unkonventionell ist. Ich wünsche jedem von Euch, Euer berufliches Glück zu finden.

*Elena Böger, Hannover*



## GUTE LEHRE

## Ars legendi-Fakultätenpreis Biologie 2024 für Nina Keul

**Dr. Nina Keul von der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) erhielt den Ars legendi-Fakultätenpreis 2024 in der Kategorie Biologie. Sie entwickelte innovative Formate, um die forschungsorientierte Lehre zu stärken. Mit oft spielerischen Angeboten fördert die Preisträgerin neben dem Wissenserwerb auch die Kommunikationsfähigkeit und Eigenverantwortung der Studierenden. Sie überzeugte die Jury unter anderem durch die interdisziplinäre Durchlässigkeit ihrer Veranstaltungen, die Förderung studentischer Mobilität sowie mit dem E-Learning-Tool „digiCruise“, bei dem Studierende eine virtuelle Expedition mit einem Forschungsschiff erleben.**

Nina Keul lehrt seit 2017 disziplinübergreifend in den Studiengängen *Marine Geosciences* sowie *Biological Oceanography* an der Universität Kiel. Von Haus aus Biologin gelingt es ihr, die Studierenden auch für die interdisziplinären Fragestellungen der Meereswissenschaften zu begeistern und zu eigenständigem Lernen zu motivieren. Ihre Lehre ist stark forschungsorientiert und geht weit über die Vermittlung fachlicher Inhalte hinaus. Die Preisträgerin legt großen Wert auf die Berufsorientierung und das Training wichtiger Schlüsselqualifikationen wie etwa wissenschaftliches Schreiben, Moderation von Diskussionen oder die

Erstellung von Postern oder Policy Briefs.

### Breites Spektrum an Vermittlungsmethoden

In ihrer Lehre setzt Nina Keul ein breites Methodenspektrum ein wie etwa „Entrance Tickets“ oder „Bingo-Cards“. Besonders beeindruckt hat die Jury das Online-Angebot „digiCruise“, das Nina Keul im Rahmen der *European University of the Sea* (SEA-EU), einer europäischen Hochschulallianz, entwickelt hat. Hier lernen zukünftige Forscherinnen und Forscher verschiedene meereswissenschaftliche Methoden kennen oder messen Parameter wie

Sauerstoff und Salzgehalt an unterschiedlichen Stationen in europäischen Gewässern. „DigiCruise“ verbindet viele Lehraspekte wie Interdisziplinarität, Interaktivität und forschungsorientierte Lehre auf internationalem Niveau und bietet eine hervorragende Vorbereitung auf reale Ausfahrten. „DigiCruise“ ist nicht nur als Selbstlerneinheit fest im Modul *Introduction to Integrated Marine Sciences* verankert, sondern steht darüber hinaus weltweit allen Interessierten kostenfrei zur Verfügung.

### Wesentlicher Beitrag zur Gestaltung des Studiengangs

Nina Keul hat mit ihren interdisziplinären Lehrmodulen zu einer Verbesserung des Studienangebots beigetragen. Die Preisträgerin ist ebenso an der Weiterentwicklung des Master-of-Science-(M. Sc.)-Studiengangs *Marine Geosciences* beteiligt und hat dessen Re-Akkreditierung koordiniert. Dabei gelang es ihr auch, ein „Mobilitätsfenster“ im 3. Semester zu etablieren, das bis zu 50 Prozent der Studierenden für einen ERASMUS-Aufenthalt im Ausland nutzen. Ferner setzt sich Nina Keul aktiv für die Vernetzung fachspezifischer Lehrangebote aus den Meereswissenschaften in ein fakultätsübergreifendes Lehrangebot ein. Sie hat damit einen wichtigen Baustein zur Entwicklung der *interdisciplinary Master School of Marine Sciences* (iMSMS) beigetragen.

„Die Inhalte des Studiengangs stehen nun auch Studierenden aus nicht klassisch geologisch orientierten B. Sc.-Studiengängen offen. Die Geographen, Biologen und Ozeanographen integrieren sich gut in den M. Sc.-Studiengang für *Marine Geosciences* und tragen so zu einer Vielfalt bei, von der letztlich alle profitieren“, erläutert Keul.

### Engagement auf europäischer Ebene

Preisträgerin Keul arbeitet kontinuierlich an der Internationalisierung von Studienangeboten und einem



**ABB. 1** Dr. Nina Keul von der CAU (li) erhält den Ars legendi-Fakultätenpreis 2024 in der Kategorie Biologie – hier mit Jurymitglied Prof. Dr. Felicitas Pfeifer vom VBIO (re). Foto: „Stifternverband/Fotograf Uwe Dettmar“.

Austausch über Ländergrenzen hinweg. So konzipierte sie für die Christian-Albrechts-Universität den ersten Antrag für das ERASMUS + Projekt "SEA EU – European University of the Sea". In der Hochschulallianz sind neben der CAU mittlerweile acht weitere europäische Hochschulen vernetzt. Ein wesentliches Ziel ist es, Studiengänge und

Kurse so anzulegen, dass Mobilität für Studierende möglich wird und die Anerkennung von Studienleistungen ohne bürokratische Hürden gelingt.

„Nina Keul hat die Jury nicht nur mit ihren eigenen, wohl durchdachten Lehrveranstaltungen überzeugt, sondern insbesondere auch durch ihren Beitrag zur Studiengangsgestaltung und dessen europäische Dimension“, erläutert Prof. Dr. Felicitas Pfeifer, Vizepräsidentin des VBIO und Jurymitglied. „Besonders beeindruckt hat uns, dass es ihr trotz der damit verbundenen Herausforderungen gelingt, die interdisziplinäre Durchlässigkeit ihrer Veranstaltungen sicherzustellen.“

*Kerstin Elbing, VBIO*

## BAUER WILLIS KRAUT UND RÜBEN

### Teil 3: Mehr Kuhfladen in die Landschaft – oder: Was es mit dem Insektensterben auf sich hat

*Landwirtschaft ist „angewandte Biologie“. Bauern sind Experten, die die Ergebnisse von Forschung, von Tier- und Pflanzenzucht, Bodenbiologie und Chemie umsetzen. Sie müssen auch etwas von Meteorologie verstehen, ökonomisch denken und sollen sich gleichzeitig auch um Tierwohl, Klima- und Artenschutz kümmern. Der Arbeitsplatz ist sehr teuer, nicht nur wegen des komplexen Maschinenparks, ohne den Landwirtschaft nicht mehr denkbar ist. Was Landwirte für unsere tägliche Versorgung mit Lebensmitteln tun und warum sie oft anders denken als ein großer Teil unserer urbanen Gesellschaft, beschreibt „Bauer Willi“ (Willi Kremer-Schillings) in einer vierteiligen Mini-Serie.*



**ABB. 1** Kuhfladen sind eine begehrte Nahrungsquelle für verschiedene Insektenarten.

Ein Thema, das mir am Herzen liegt und das aufzeigt, wie Wissenschaft negiert wird, ist das Insektensterben. Es wurde ein Thema, nachdem Hobby-Entomologen in Krefeld ihre Ergebnisse veröffentlichten. Seitdem ist in nahezu allen Medien davon die Rede, dass „weltweit über 70 Prozent der Insekten verschwunden sind“. Diese Aussage ist falsch. Richtig ist, dass im Krefelder Naturschutzgebiet Orbroicher Bruch im Verlauf von 30 Jahren ein Rückgang der Masse der Fluginsekten um 70 Prozent gemessen wurde. Das mag sich jetzt spitzfindig anhören, ist es aber nicht. Warum? Die Messung im Orbroicher Bruch begann, als das – relativ kleine – Gebiet aus der landwirtschaftlichen Nutzung genommen wurde. Damit verbunden war ein Verbot der Tierhaltung und aller sonstigen landwirtschaftlichen Maßnahmen. Es gab eine

Ausnahme: Die Landwirte durften (und sollten) das Grünland weiter mähen und das Erntegut abfahren. Eine Düngung durfte nicht erfolgen, so dass die Böden mit der Zeit verarmten. Das war auch das erklärte Ziel der Naturschützer. Mit dem Verbot der Tierhaltung verschwanden alle Insekten, die bis dahin die Kuhfladen besiedelt hatten (Abbildung 1). Mit dem Verbot der Düngung verschwanden auch die stickstoffliebenden Pflanzenarten, allem voran der Löwenzahn, der für die Bienen mit einer der ersten Trachten im Frühjahr darstellte. Schmeißfliegen und Bienen sind Fluginsekten mit einem hohen Gewicht. Diese landeten nun nicht mehr in den Fallen der Entomologen, die übrigens anfangs nur die Biomasse bestimmten, nicht jedoch die Artenzusammensetzung. Vereinfacht ausgedrückt: Die Biomasse der Fluginsekten ging zurück, weil dieses Gebiet zum Naturschutzgebiet wurde. Übrigens wurden Heuschrecken und am Boden lebende Insekten nicht erfasst, weil die Fallen in zwei Meter Höhe aufgestellt wurden.

Weitere Gründe für den Verlust an Biomasse: die Hygiene bei der Lagerung und Ausbringung von organischem Dünger. Nicht nur in den untersuchten Gebieten gibt es keinen Stallmist mehr, die Güllebehälter im Umland sind hermetisch abgedeckt. Die Ausbringung der Gülle muss innerhalb von wenigen Stunden erledigt und möglichst sofort eingearbeitet sein. Da hat

keine Schmeißfliege mehr eine Chance, noch ihre Eier abzulegen.

Soweit zur Krefelder Studie, die übrigens auch den Preis für die Unstatistik des Monats erhalten hat, weil sie auch aus statistischer Sicht große Fehler aufweist. Die Standorte der Fallen wurden häufiger gewechselt, in manchen Jahren wurden keine Fallen aufgestellt und die fehlenden Jahre nicht markiert. Wer weiß, welche Schwankungen der Abundanz bei Insekten aufgrund der Witterung normal sind, wird verstehen, dass dies mit Wissenschaft nichts mehr zu tun hat.

Insekten wurden aber nicht nur in Deutschland, sondern auch in England und Österreich langjährig untersucht. In England wurde dies an einer wissenschaftlichen Einrichtung, dem *Rotbamsted Research Institute* durchgeführt, das nicht nur Masse, sondern auch Artenzusammensetzung untersuchte (<https://t1p.de/u4rxn>). Die Standorte lagen in Agrarlandschaften. Das Ergebnis: An zwei Standorten gab es keine Veränderung, an einem Standort nahmen die Insekten zu, an einem Standort ab. Dieser Stand-

ort lag in der Nähe eines Siedlungsgebietes, das im Verlauf der 30 Jahre immer weiter auf die Fallen zuwanderte. Was fehlte, waren die Nachtfalter, die durch die Lichtverschmutzung vernichtet wurden.

Ebenfalls 30 Jahre lang untersuchten österreichische Forscher an 300 Standorten über 4.000 Arten (<https://t1p.de/ejjo1>, <https://t1p.de/mzks>). Hier war – kurz zusammengefasst – das Ergebnis, dass etwa ein Viertel der Insekten verschwand, etwa gleich viel aber hinzukam. Verschwunden sind vor allem kälteliebende Insekten, hinzugekommen wärmeliebende Arten, was sich durch den Klimawandel sehr gut erklären lässt. Auf dem Grünland gab es Veränderungen, weil ein anderes Mähmanagement eingeführt wurde. Es wird heute häufiger gemäht und statt mit Messerbalken mit rotierenden Schneidwerkzeugen. Das hat negative Auswirkungen auf die Insektenpopulation, weil dadurch mehr Insekten getötet werden.

Was ich sagen will: Der deutschen „Studie“ aus Krefeld stehen zwei langjährige wissenschaftliche

**DER AUTOR**



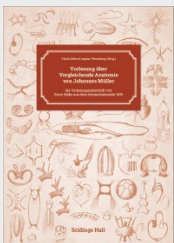
*Willi Kremer-Schillings ist Landwirt und war zuletzt als Leiter der landwirtschaftlichen Abteilung in der Zuckerfabrik Elsdorf und Jülich tätig.*

*Seit seinem Eintritt in den Ruhestand betätigt er sich als Autor und betreibt den Internet-Blog [bauerwilli.com](http://bauerwilli.com). Darin thematisiert er die aus seiner Sicht schwierige Situation der Landwirte in Deutschland sowie fehlende gesellschaftliche Akzeptanz und Wertschätzung für ihre Arbeit.*

Messungen aus England und Österreich gegenüber. Diese Arbeiten finden in den Medien aber keine Resonanz. Hier wird weiter das Narrativ des Insektensterbens erzählt, an dem natürlich vor allem „die Bauern mit ihren giftigen Pestiziden“ schuld sind.

*Willi Kremer-Schillings,  
Rommerskirchen*

## BUCHTIPP „ANATOMIE DER TIERE“



Die „Physiologie“ war bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts eine allumfassende Lehre des Lebens und wurde in herausragender Weise von Johannes Müller (1801–1858) vertreten und geprägt. Biologen und Mediziner beziehen sich noch heute auf ihn. Eine Vorlesung zur Vergleichenden Anatomie der Tiere, die er im Sommersemester 1851 gehalten hatte, wurde vom späteren Arzt und

Zoologen Ernst Zeller (1830–1902) besucht und mitgeschrieben. Das vorliegende Buch bringt ein Faksimile und eine Transkription dieser Mitschrift. In ihrer Einführung stellen die Herausgeber Johannes Müller im Kontext der Ideengeschichte seiner Zeit dar. Sie erläutern, wie er mit seinem ‚empirischen Idealismus‘ sowohl den spekulativen Strömungen der romantischen Naturverklärung und des aufkommenden ‚Evolutionis-

mus‘ als auch der zunehmenden Vereinzelung der Naturwissenschaften widerstand. Dabei ging es ihm um eine Gesamtschau der lebendigen Natur, eine Erkenntnis idealer ‚Urphänomene‘, die nur durch eigene empirische Forschung gewonnen werden kann. Die Weltseele galt ihm dabei als gegebene Tatsache. Die Mitschrift von Müllers Vorlesung ist ein beredtes Zeugnis der deutschen Wissenschaftskultur wenige Jahre vor Erscheinen von Darwins *On the Origin of Species* und bietet Einblicke in die in sich abgeschlossenen epistemologischen Grundlagen der Morphologie in der Mitte des 19. Jahrhunderts.

### Vorlesung über Vergleichende Anatomie von Johannes Müller.

Die Vorlesungsmitschrift von Ernst Zeller aus dem Sommersemester 1851. Ulrich Zeller, Ingmar Werneburg, Scidinge Hall, Tübingen. 2024, 300 S., 24,90 Euro, ISBN 978-3-947020-23-2.

## ÖKOLOGIE

## Die Heilpflanze des Jahres 2024 aus tierökologischer Sicht

Der Schwarze Holunder (*Sambucus nigra*) wurde vom Naturheilverein Theophrastus zur Heilpflanze des Jahres 2024 ausgerufen. Wirkstoffe wie Flavonoide und ätherische Öle, ein hoher Vitamin-C-Gehalt der Früchte sowie Gerb- und Mineralstoffe sind ursächlich für die Verwendung als Heilpflanze. Im folgenden Beitrag soll nicht die heilkräftige Wirkung des Holunders im Vordergrund stehen, sondern seine ökologische Bedeutung.



**ABB. 1** Die gefiederten Blätter des Schwarzen Holunders. Foto: Gregor Aas.

Der Schwarze Holunder (*Sambucus nigra*) ist von Europa bis Kleinasien und über den Kaukasus bis nach Westsibirien beheimatet. Auch in Nordafrika sind Vorkommen bekannt. Bei uns ist die Art weit verbreitet und kommt in den Alpen bis 1600 m ü. NN vor. In Mitteleuropa sind drei Holunder-Arten heimisch: der Schwarze Holunder (*Sambucus*

*nigra*), der Trauben-Holunder (*Sambucus racemosa*) – auch Roter Holunder oder Hirschholunder genannt – sowie der Stauden- oder Zwerg-Holunder (*Sambucus ebulus*) [1]. Dabei ist besonders der Schwarze Holunder zu einer typischen Begleitpflanze menschlicher Siedlungen geworden und hier eine häufige Gehölzart, v. a. in ländlichen Gebieten.

Der Schwarze Holunder ist ein Strauch, der entlang von Waldrändern, auf Lichtungen, in Gebüsch und Hecken sowie in Misch- und Auwäldern vorkommt. Neben den natürlichen Standorten tritt die Art außerdem auf anthropogen beeinflussten Standorten wie z. B. auf Halden, Brachflächen, ehemaligen Rieselfeldern und Deponien auf. Der Schwarze Holunder wächst zwar fast auf jedem Substrat, bevorzugt aber eindeutig nährstoffreiche,

mäßig trockene bis feuchte Böden. Er gilt als Zeigerpflanze für nährstoffkräftige Böden und ist ein typisches Element nitrophiler Pflanzengesellschaften.

### Botanische Merkmale

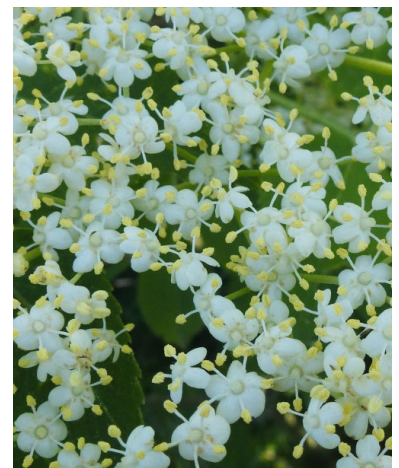
Beim Schwarzen Holunder stehen wie bei allen Geißblattgewächsen (*Caprifoliaceae*) die 10–30 cm langen Blätter gegenständig. Sie sind unpaarig gefiedert und setzen sich aus 5–7 gesägten Einzelblättchen zusammen (Abbildung 1). Die Art treibt – wie z. B. die Traubenkirsche (*Prunus padus*) – sehr früh aus. Nicht selten brechen die Knospen bereits Ende Februar/Anfang März auf. Der Austrieb ist im Gegensatz zum violetten Austrieb von *Sambucus racemosa* frisch grün [1]. Das Mark junger Zweige ist weiß gefärbt, im Gegensatz zum braunen Mark beim Trauben-Holunder.

### Holunderblüten und blütenbesuchende Insekten

Die einfach gebauten fünfzähligen Blüten stehen in breiten tellerförmigen Trugdolden (Abbildungen 2 und 3), die erst lange nach dem Laubaustrieb im Juni aufblühen. Sie werden überwiegend von Fliegen und Käfern bestäubt. Der Schwarze Holunder hat allgemein für Insekten, die sich von Pollen und/oder Nektar ernähren, große Bedeutung. Viele



**ABB. 2** Blütenstand des Schwarzen Holunders. Foto: Gregor Aas.



**ABB. 3** Einzelblüten des Schwarzen Holunders. Foto: Gregor Aas.

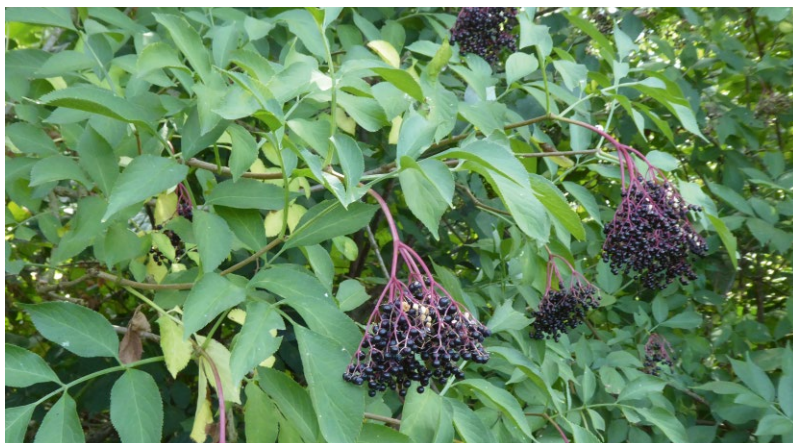
Käferarten aus verschiedensten Familien sind auf den Blüten anzutreffen, darunter auch große Bockkäfer wie Buchenbock (*Cerambyx scopolii*), Zangenböcke, Blütenböcke, Rosenkäfer und Wollkrautblütenkäfer. Für diese Arten ist auch wichtig, dass die Blütezeit des Schwarzen Holunders nach der Blüte der Weißdorne liegt und somit eine „zeitliche Lücke“ füllt. In den Holunderblüten können drei Gallmückenarten vorkommen. Blasig angeschwollene Blütenknospen, die sich nicht mehr öffnen, gehen auf den Befall durch die Gallmücke *Placochela nigripes* zurück. Meist sind im Blütenstand mehrere Knospen betroffen. Im Inneren der Blütengalle befindet sich dann die gelb-orange gefärbte Made der Gallmücke. Eine weitere Gallmückenart *Contarinia lonicerae* verursacht Blütengallen, in denen mehrere gelbe, springende Larven zu finden sind. Sie tritt auch auf Blüten von Heckenkirschen (*Lonicera* sp.) und Schneeball (*Viburnum* sp.) auf. Die weißen Larven der Gallmückenart *Arnoldiola sambuci* führen zu Missbildungen an den Blüten [2].

### Holunderfrüchte und Vogelwelt

Die purpur-schwarzen, kugeligen Holunder-„beeren“ sind botanisch gesehen Steinfrüchte (Abbildung 4). Ihr Durchmesser beträgt 5–6 mm und sie enthalten meist drei Stein-

kerne. Sie reifen je nach Standort manchmal schon ab September, meist aber erst im Oktober. Die Fruchtreife des Schwarzen Holunders zeigt den Beginn des Frühherbstes an. Die Früchte sind in dieser Zeit eine wichtige Nahrungsquelle für eine große Anzahl von Vogelarten. TURCEK [3] führt 62 Vogelarten auf, die die Früchte des Schwarzen Holunders fressen.

Während der Hauptreifezeit der Holunderbeeren werden auch die meisten Vogelarten – darunter Star, Amsel und Singdrossel – beim Verzehr von Holunderbeeren beobachtet. Aufgrund ihrer geringen Größe können Holunderbeeren auch von kleineren Singvögeln wie Rotkehlchen, Mönchsgrasmücke und Zilpzalp im Ganzen verschluckt werden (Abbildung 5). Die Samenkern werden beim Fressen nicht zerstört und verlassen nach der Verdauung mit dem Kot den Körper. So tragen diese Vogelarten zur Ausbreitung des Schwarzen Holunders wie auch anderer Sträucher bei. Es besteht hier eine ökologische Beziehung zum gegenseitigen Nutzen der Partner. Die Vögel bekommen Nahrung (Fruchtfleisch) und verbreiten im Gegenzug mit ihren Ausscheidungen die genutzte Gehölzart (Endozoochorie) [4]. Die Vogelarten, die nur an den Samen interessiert sind, wie z. B. viele Finkenarten verbreiten dagegen Gehölze nicht.



**ABB. 4** Die Früchte des Schwarzen Holunders reifen vor allem im September/Oktober und können wegen ihres geringen Durchmessers auch von kleinen Singvögeln als ganze Beere verzehrt werden. Foto: Gregor Aas.

### Phytophage Insekten- und Milbenarten am Holunder

Bei den phytophagen Insektenarten ist der Holunder – wahrscheinlich aufgrund seiner Inhaltsstoffe – nicht so beliebt. Ob das in Blättern, unreifen Früchten und frischer Rinde enthaltene Sambunigrin, ein cyanogenes Glykosid, dafür verantwortlich ist, muss noch geklärt werden [2]. Aufgrund dieses Glykosids sind aber alle Teile der Art als schwach giftig einzustufen. Es finden sich daher nur wenige phytophage Arten am Schwarzen Holunder. Phytophage Käfer fehlen völlig.

Löffelartig aufgebogene Ränder der Fiederblätter – oft bleich entfärbt – gehen auf die Tätigkeit der Gallmilbe *Epitrimerus trilobus* zurück. Oft wird dabei die gesamte Triebspitze völlig deformiert [5]. Die Gallmilbe tritt an verschiedenen Holunderarten auf und ist recht häufig [6]. An jungen Holundertrieben treten im Frühjahr und Frühsommer dichte Kolonien von graugrünen Läusen auf, die häufig von Ameisen besucht werden. Es handelt sich dabei um die wirtswechselnde Schwarze Holunderblattlaus *Aphis sambuci* [7]. Ihr Haupt- und Winterwirt ist der Schwarze Holunder, aber im Sommer wechselt sie auf die Wurzeln bestimmter Kräuter wie z. B. die der Ampferarten *Rumex* spp. und Gräser. Von den am Schwarzen Holunder vorkommenden Insekten ist die Holunderblattlaus (*Aphis sambuci*) am häufigsten und auffälligsten [2]. Sie überwintert als Ei.

Es gibt auch nur wenige Falterarten, deren Raupen am Schwarzen Holunder fressen. Die bekanntesten sind der Holunderspanner oder Nachtschwalbenschwanz (*Ourapteryx sambucaria*) und der Holunderzünsler (*Anania coronata*). Beide Arten kommen bevorzugt am Holunder vor, sind aber nicht streng monophag, sondern können auch andere Gehölze nutzen. Die Raupe des in Europa weit verbreiteten und nicht seltenen Holunderspanners frisst hauptsächlich an Holunder, kann aber auch an Flieder oder Waldrebe



**ABB. 5** Das Rotkehlchen verzehrt sehr gerne die „Beeren“ des Schwarzen Holunders. Foto: Michael Püls.



**ABB. 6** Exemplar des Holunderspanners oder Nachtschwalbenschwanzes. Foto: Siegfried Braun.



**ABB. 7** Das Judasohr besitzt ohrmuschelförmige und gallertartige Fruchtkörper, die bevorzugt an geschwächten Holunderstämmen auftreten. Foto: Markus Blaschke.

auftreten. Die Falter, die ca. 40–50 mm Flügelspannweite aufweisen, fliegen in der Zeit von Mai bis August. Die Raupen treten ab August auf. Die Art überwintert im Raupenstadium. Die verlängerten Spitzen der Hinterflügel führten bei der Art zum deutschen Namen Nachtschwalbenschwanz (Abbildung 6).

Der Holunderzünsler erreicht nur ca. 26 mm Flügelspannweite und bleibt damit deutlich kleiner als der Holunderspanner. Auch diese Art ist in Europa von Skandinavien bis Sizilien weit verbreitet. In Mitteleuropa bildet sie zwei sich überlappende Generationen aus. Die Raupen der ersten Generation erscheinen im Juni, die der zweiten Generation im Herbst. Sie fressen auch am Roten Holunder, an Flieder, Liguster oder Schneeball. Manchmal kommen auch die Raupen des eher polyphagen Ebereschen-Blattwicklers (*Choristoneura bebenstreitella*), die in einem selbst gefertigten Blattwickel leben, am Holunder vor. Meist leben die Raupen an *Sorbus*-Arten und Eichen, aber auch an Haselnuss, Salweide und eben Holunder. Ab und zu wird die Raupe der polyphagen Flohkraut-Eule (*Melanbra persicariae*), die an 38 Pflanzenarten vorkommen kann, auch am Schwarzen Holunder aufgefunden. Die hellgraue bis hellbraune Raupe erreicht bis 45 mm Größe.

Die durch die Minierfliege *Lirio-myza amoena* hervorgerufenen oberseitigen Gangminen in den Blättern des Holunders sind sehr augenfällig. Die Art bildet zwei Generationen im Jahr aus, die im Juni/Juli und August/September erscheinen. Gelegentlich tritt auch die Grüne Stinkwanze (*Palomena prasina*) am Schwarzen Holunder auf. In Holunderplantagen ist sie nicht gerne gesehen, da sie den Fruchtwert, besonders durch ihren unangenehmen Geruch, schmälert [2].

### Judasohr und Schwarzkäfer

Das Judasohr (*Auricularia auricula-judae*), eine Pilzart mit gallertartigen

bis knorpeligen Fruchtkörpern, die an eine menschliche Ohrmuschel erinnern, wächst in Mitteleuropa sehr häufig auf alten Holunderstämmen (Abbildung 7).

Der Pilz wird daher auch „Holunderpilz“ genannt. Seine Fruchtkörper sind das ganze Jahr hindurch zu entdecken. Besonders in frostfreien, feuchten Wintermonaten fallen sie ins Auge. Die Außenseite des gallertartigen und knorpeligen Pilzes ist rötlichbraun, violettgrau bis olivbraun. Selten treten auch reinweiße Fruchtkörper auf. Der Pilz ist auch roh essbar. Tatsächlich erscheint das Judasohr häufig an älteren und geschwächten Stämmen und Ästen des Schwarzen Holunders. Als Saprobiont ernährt sich der Pilz vom Holz, das er allmählich abbaut. Das Judasohr kommt aber auch auf anderen Laubböhlern vor. Die Frage, warum das Judasohr aber den Holunder eindeutig bevorzugt, ist noch nicht geklärt [8].

Eine Gallmückenart (*Camptodiplosis auriculariae*) hat sich sogar auf die Fruchtkörper spezialisiert. Wo das Judasohr am Holunder wächst, kommt auch der Schwarzkäfer *Platyedema violacea* vor. Diese Käferart lebt unter der Rinde von pilzinfizierten Bäumen mit einer Vorliebe für vom Judasohr befallenen Holunderstämmen. Die nah verwandte und seltene Art *Platyedema dejeani* gilt als Urwaldreliktart. Über die Biologie dieser Art ist wenig bekannt. Man nimmt aber an, dass sie eine ähnliche Lebensweise mit einer Vorliebe für pilzinfizierte Bäume hat wie *Platyedema violacea*. Ebenfalls sehr häufig zeigt sich am Schwarzen Holunder der Holunder-Rindenpilz (*Hyphodontia sambuci*), dessen Fruchtkörper an einen weißen Kalkanstrich des freiliegenden Holzkörpers erinnern.

### Fazit

Der Schwarze Holunder bietet aufgrund seiner Häufigkeit für den interessierten Naturfreund und Biologen auch im heimischen Garten, in städtischen Parks, in Feldhecken oder

an Waldrändern spannende Beobachtungen von ökologischen Beziehungen zwischen dem Gehölz und verschiedenen Tierarten. Besonders eindrucksvoll ist die Bedeutung des Schwarzen Holunders als Nahrungsgrundlage für eine Vielzahl von Vogelarten.

### Literatur

- [1] V. M. Dörken (2015). *Sambucus* ssp. – Holunder (*Caprifoliaceae*), Jahrb. Bochumer Bot. Ver. 2, 258–265.
- [2] J. Schliesske (2003). Die phytophage Acaro- und Entomofauna des Schwarzen Holunders (*Caprifoliaceae: Sambucus nigra* L.), Verh. Westd. Entom. Tag 2002, 121–127, Löbbecke Museum.
- [3] F. Turcek (1961). Ökologische Beziehungen der Vögel und Gehölze, Bratislava, Reprint 2019 by Exlibris Publish.
- [4] R. Pfeifer, O. Schmidt (2023). Singvögel im Wald – Einblicke in eine erfolgreiche Lebensgemeinschaft, AULA-Verlag.
- [5] H. Butin et al. (2003). Farbatlas Gehölzkrankheiten, Ulmer Verlag.
- [6] H. Bellmann (2012). Geheimnisvolle Pflanzengallen, Quelle & Meyer.
- [7] M. Spohn, R. Spohn (2016). Bäume und ihre Bewohner, Haupt-Verlag.
- [8] DGfM - Deutsche Gesellschaft für Mykologie e.V. (2017): Pilz des Jahres 2017: Judasohr

*Olaf Schmidt, München*

## ZOONOSEN

### Tropenkrankheiten wandern nordwärts

**Die Bevölkerung gemäßigter Klimazonen blieb lange verschont von Tropenkrankheiten, denn Erreger und Überträger sind überwiegend an dauerhaft feuchtwarme Umweltbedingungen angepasst. Inzwischen ist das Klima im Norden aber einladender geworden und der Transport durch internationalen Handel, Tourismus und Migration kann Viren, Bakterien, Pilze, Parasiten und deren Überträgerarten zusammenbringen. Bei der Krankheitsüberwachung und Prävention müssen daher nicht nur medizinische, sondern auch ökologische Aspekte berücksichtigt werden.**

Die meisten bewusst oder unbewusst eingeführten tropischen Lebewesen sind in Europa chancenlos, weil die dortigen Umweltbedingungen ihre Vermehrung und dauerhafte Ansiedlung verhindern. Die wenigen erfolgreichen Arten (Neobionten) haben aber teilweise unerwünschte Einflüsse auf Ökologie, Wirtschaft oder Gesundheit. Man spricht dann von invasiven Arten. In medizinischer Hinsicht sind besonders Krankheitserreger und deren Überträgerarten (Vektoren) problematisch [1]. Über Einreisende importierte Erkrankungen aus den Tropen werden unterschieden von autochthonen Erkrankungen, also vor Ort entstandenen Krankheitsfällen. Beispielhaft seien hier Tropenkrankheiten dargestellt, die durch heimische oder invasive Stechmücken-Arten auf den Menschen übertragen werden.

Drei Bedingungen müssen erfüllt sein, damit Tropenkrankheiten im Norden autochthon auftreten können:

- Die übertragenden Mücken brauchen für alle Entwicklungsstadien Umweltbedingungen, die eine Reproduktion und Überwinterung ermöglichen.
- Für die Krankheitserreger müssen zusätzlich zu den klimatischen Umweltbedingungen passende Überträgerarten und Wirte vorhanden sein.
- Der Mensch versäumt es, den Stich der weiblichen Mücke sowie den weiteren Lebenszyklus des Erregers zu verhindern.

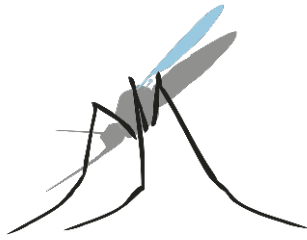
Neben dem Übertragungsweg durch Mücken darf aber eine mögliche Infektion über Bluttransfusionen, gemeinsamen Spritzengebrauch sowie eine Übertragung von der Mutter auf das Ungeborene nicht vergessen werden. Tropenkrankheiten sind meldepflichtig.

#### **Malaria: Einzeller – Fiebertmücke – Mensch**

Malaria ist eine lebensbedrohliche Erkrankung, die sich durch zerstörte

rote Blutzellen und wiederkehrende Fieberschübe äußert. Erreger sind einzellige Parasiten (*Plasmodium* spp.); Fiebertmücken (*Anopheles* spp., Abbildung 1) sind deren potenzielle Überträger auf den Menschen. Die weibliche Mücke benötigt eine Blutmahlzeit vor der Ablage von Eiern. Mit ihren Stichen überträgt eine infizierte Mücke die Malaria-Erreger von Mensch zu Mensch. Dieser ist (abgesehen von Menschenaffen) der einzige relevante Wirt.

*Anopheles*-Mücken sind in ganz Europa heimisch [2], es gibt hier also bereits Vektoren für Malaria-Erreger. Entwicklung und Lebenszyklus der Plasmodien im Mückenkörper sind bei niedrigen Temperaturen aber derart verlangsamt, dass sie während des Mückenlebens im Norden (bisher) nicht abgeschlossen werden können. Eine Blutmahlzeit am Menschen bleibt dann ohne Krankheitsfolgen. Die Mücken-Imagines sind dämmerungs- und nachtaktiv, dringen aber selten in Häuser ein. Fiebertmückenstiche sind am ehesten bei einer „Outdoor“-Übernachtung zu befürchten, die im Norden jahreszeitlich begrenzt ist. Verhindern lassen sich Mückenstiche außerdem durch körperbedeckende Kleidung, Mückennetze oder Repellents. Es gibt auch Menschen, die nicht nur seltener gestochen werden, sondern durch genetische Besonderheiten die Entwicklung der Malariaerreger stören. Das trifft beispielsweise auf heterozygote Träger des Sichelzellgens zu – diese Krank-



**ABB. 1 Fiebermücke (*Anopheles* spp.).**

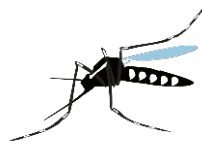
heit ist daher in Malariaregionen auffallend häufig.

Malaria galt in Europa seit dem 20. Jahrhundert als ausgerottet, sieht man von importierten Krankheitsfällen bei Ein- oder Rückreisenden aus tropischen Regionen ab. Seit etwa 15 Jahren werden aber vereinzelt autochthone Malariafälle aus wärmeren Ländern im Mittelmeerraum gemeldet [3]. Außerdem finden importierte, infizierte Mücken inzwischen an Flughäfen einen wohltemperierten Lebensraum vor und führen zur sogenannten „Flughafen-Malaria“. Plasmodien können ausnahmsweise direkt über das Blut – also ohne Mücken-Umweg – übertragen werden. Malaria-kranken und Rückkehrer aus Malaria-Regionen sind daher von einer Blutspende ausgeschlossen. Impfungen sind weiterhin nicht möglich [4], es gibt aber Medikamente zur Prävention und Behandlung.

### **Dengue-Fieber: Dengue-Viren – Tigermücke – Mensch**

Dengue-Fieber äußert sich in Fieber, Ausschlag, Kopf- und Gliederschmerzen, kann aber in Einzelfällen durch innere Blutungen und Schock einen tödlichen Verlauf nehmen. Erreger dieser Tropenkrankheit sind Viren, die durch Tigermücken (*Aedes* spp., Abbildung 2) übertragen werden. Es gibt vier Virenvarianten, die nach überstandener Infektion beim Menschen Teilimmunität hinterlassen. Allerdings kann eine Folgeinfektion mit einer anderen Variante zu einem besonders schweren Verlauf führen.

*Aedes albopictus* ist charakteristisch schwarz-weiß gezeichnet und

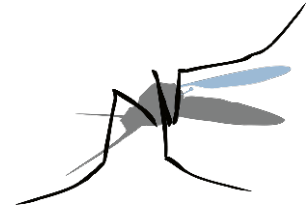


**ABB. 2 Tigermücke (*Aedes albopictus*).**

deutlich kleiner als die Fiebermücke oder Hausmücke. Die Tigermücke ist tagaktiv und kann den gesamten Lebenszyklus in Häusern vollziehen, Mückennetze über Schlafstätten schützen daher kaum vor Stichen. Bereits Kleinstgewässer in Regentonnen, Blumenvasen oder weggeworfenen Behältern genügen ihren Larven zur Entwicklung. Entsprechend leicht ist eine Verschleppung infizierter Tigermücken über LKW- oder Schiffsladungen. In tropischen Regionen heißt es daher *upside down*, also Wasserbehälter auskippen und umdrehen. Die bei uns üblichen städtischen Wasserspiele oder Gartenteiche sind in solchen Risikoregionen undenkbar [5].

Die Tigermücke ist im Norden nicht heimisch, seit etwa 10 Jahren gibt es aber zunehmend Tigermücken-Funde im südlichen Europa, deren Arealvergrößerung sich auf entsprechenden Karten nachvollziehen lässt [2]. Mit den Vektorarten vor Ort haben nun auch die Viren eine verbesserte Ausbreitungschance. Das Vorkommen der Tigermücke ist für die Etablierung der Dengue-Viren zwar unverzichtbar, aber auch die Viren brauchen für die Replikation gewisse Mindesttemperaturen. Dann können sie sogar direkt über Mückeneier an die nächste Generation weitergegeben werden. Milde Winter und lange Wärmeperioden im Sommer sind dabei förderlich.

Autochthone Erkrankungen am Dengue-Fieber sind in Europa bisher nicht bekannt [3]. Denguefieber wird symptombezogen behandelt, ein heilendes Medikament gibt es nicht. Seit 2023 ist ein Lebendimpf-



**ABB. 3 Hausmücke (*Culex* spp.).**  
Alle Zeichnungen I. Kronberg.

stoff zugelassen, der vor einem schweren Verlauf schützt.

### **West-Nil-Fieber: West-Nil-Virus – Hausmücke – Vogel**

Das West-Nil-Fieber wird ebenfalls durch Viren übertragen. Die meisten Infektionen verlaufen klinisch unauffällig oder ähneln grippalen Infekten mit Hautausschlag. Bei einem Prozent kommt es aber zu einem neuroinvasiven Verlauf bis hin zur Meningitis. West-Nil-Viren gelangen durch infizierte Zugvögel und nicht durch Tropenreisende nach Südosteuropa. Überträgerarten von Vogel zu Vogel sind Hausmücken (*Culex* spp., Abbildung 3), die in Europa weit verbreitet sind [6]. Hausmücken sind wenig wirtsspezifisch, daher können Menschen und Pferde durch ihren Stich infiziert werden. In diesen Fehlwirten vermehren sich die Viren aber nur eingeschränkt; Betroffene können zwar erkranken, das Virus wird aber nicht weiterverbreitet.

In Deutschland gab es schon 2018 Virusinfektionen bei Vögeln und Pferden, seit 2019 vereinzelt auch beim Menschen. West-Nil-Fieber wird symptomatisch behandelt, es ist noch kein Impfstoff für Menschen verfügbar. Bei Pferden sind inzwischen Impfungen möglich, die den Verlauf mildern.

### **Fazit**

Tropenkrankheiten stellen zurzeit in Europa zwar noch keine große Gefahr dar, man sollte sich aber auf mehr Fälle einstellen. Das betrifft einerseits die medizinische Diagnostik: Wenig bekannte Krankheitsbilder werden leichter übersehen. Es betrifft aber auch die ökologischen



Bedingungen für die Etablierung und Ausbreitung in nördliche Klimazonen. Dafür sind Kartierungen nicht nur der Krankheitsfälle, sondern auch der Überträgerarten nötig. Vielfach gibt es dafür *Citizen-Science*-Projekte [7], die in Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen (infizierte) Mücken registrieren. Während sich die invasiven Tigermücken regional vielleicht noch eliminieren lassen, ist das bei heimischen Hausmücken und Fiebermücken weder möglich noch sinnvoll. Solange keine Impfstoffe

entwickelt sind, hilft daher nur der Schutz vor Mückenstichen. In Risikogebieten sollten Mückenbrutplätze im Wohnumfeld außerdem möglichst beseitigt werden.

### Literatur

- [1] C. Ainsworth (2023). Neglected tropical diseases: Tropical diseases move north. *Nature Outlook*, <https://doi.org/10.1038/d41586-023-03476-7>.
- [2] European Centre for Disease Prevention and Control and European Food Safety Authority (2023). Mosquito maps [internet]. Stockholm: ECDC, <https://ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/mosquito-maps>.

- [3] Robert Koch Institut, <https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ>
- [4] I. Kronberg (1991). Entwicklung von Malariaimpfstoff – ein aussichtsloses Unternehmen? *Biologie in unserer Zeit* 21 (1), 12–13.
- [5] I. Kronberg (2010). Mückenstich mit Folgen: Denguefieber. *Biologie in unserer Zeit* 40 (3), 150–151.
- [6] J. Heidecke et al. (2023). West Nile virus eco-epidemiology and climate change. *PLOS Clim* 2 (5), e0000129, <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000129>
- [7] Mückenatlas: Jede Mücke zählt. <https://mueckenatlas.com>

Inge Kronberg, Bisingen

## LERNORTE

# Außerschulische Lernorte auf dem Gebiet der Mikrobiologie

*Außerschulische Lernorte mit pädagogisch-didaktischen Bildungsangeboten spielen bei der Gestaltung des formalen Biologie-Lernens eine wichtige Rolle. Zoos, Botanische Gärten und Museen ermöglichen Lernenden anschauliche, motivierende und häufig reale Begegnungen mit der Natur. Je nach Schwerpunkt der Institution werden Aspekte des Natur- und Artenschutzes, aktuelle Forschungsbefunde oder die Bedeutung biologischer Sammlungen – ob lebendig oder archiviert – thematisiert.*

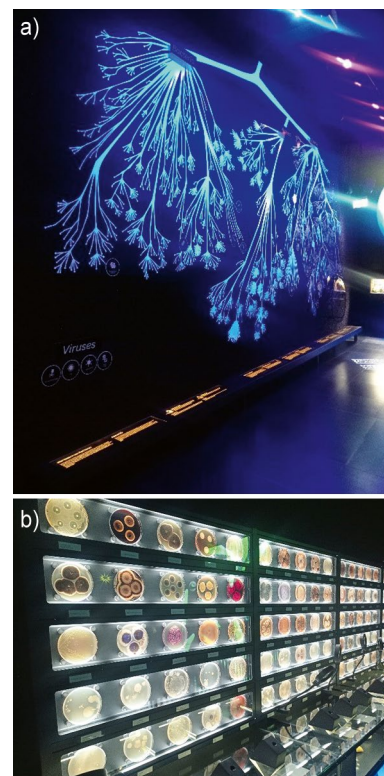
Die unsichtbare Welt der Mikroben ist abstrakt und oft mit negativen Assoziationen zu verschiedenen Krankheitserregern verbunden. Dabei übernehmen Bakterien wichtige Ökosystemleistungen und sollten sowohl in der Gesellschaft als auch in der Bildung mehr Beachtung finden. Mikroben spielen eine entscheidende Rolle in der Lebensmittelproduktion, Arzneimittelherstellung, Recyclingindustrie und der Mitigation (Folgenminderungsstrategie) des menschengemachten Klimawandels.

Obwohl Mikroben im Vergleich zu höheren Organismen nach wie vor stark unterrepräsentiert sind, gibt es mittlerweile auch für Bakterien erste Angebote für außerschulische Lernorte (Tabelle 1), die in diesem Artikel vorgestellt werden sollen.

### Reise in den Mikrokosmos

Das **ARTIS Micropia Museum** in Amsterdam ist bis dato das weltweit einzige Museum, das sich ausschließlich der unsichtbaren Welt von Pilzen, Einzellern, Bakterien und Viren widmet. Die Ausstellung fasziniert mittels zahlreicher Mikroskope, Monitore und künstlerischer Exponate (Abbildung 1). Zudem werden über Stempelkarten und Rätselblätter junge Besucher/-innen zum Erkunden von Micropia animiert. Lab Talks mit wechselnden Themen sowie Workshops ermöglichen einen direkten Zugang zum Laborpersonal, das sich als Tierpfleger der Mikroben versteht – angelehnt an den eigens gewählten Namen: Mikrobenzoo.

**MikroMondo (MikroAlpina)** ist derzeit in Tirol, nahe Innsbruck,



**ABB. 1** Impressionen aus ARTIS Micropia. a) Darstellung des Tree of Life – Stammbaum des Lebens; b) Darstellung der Ästhetik und Vielfalt mikrobiellen Lebens (Kulturen auf Agarplatten). Fotos: ARTIS Micropia Museum.

in Planung und geht über das Konzept von Micropia Amsterdam hinaus. Dies betrifft insbesondere die Umsetzung von Hands-on-Modulen, die sich mit Abwasserreinigung, Bio-



**ABB. 2** Das kürzlich erschienene Buch fasst die Genese des Science Centers MikroMondo zusammen und zeigt auf dem Cover Kolonien von Leuchtbakterien.

*Ein Gruß aus der Küche. H. Insam, J. Ascher-Jenuß, Eigenverlag, 2024, 168 S., ISBN 978-3-900122-28-7.*

gaserzeugung und industrieller Biotechnologie beschäftigen. Besucher/-innen sollen mittels anschaulicher Beispiele wie der Herstellung von Lebensmitteln oder über den lokalen Bezug zu Mikroorganismen im Alpenschnee und in Gletschern in die faszinierende Welt des Unsichtbaren eintauchen. Es wird zudem die Rolle von Mikroorganismen in der Verdauung betrachtet, besonders im Kontext der Wiederkäuer. Die enge Anbindung an Universitäten und Hochschulen sowie der Bezug zu aktuellen Forschungsprojekten soll einen ständigen Wandel der Ausstellungsobjekte ermöglichen. Ein Schwerpunkt von MikroMondo liegt in der Konzeptionierung von Bildungsangeboten für Schüler/-innen und Studierende des Faches Biologie und der Fachdidaktik. Für einen Besuch des Tiroler Mikrobenzoos muss man sich jedoch noch etwas gedulden. Einen ersten Eindruck vermittelt das kürzlich erschienene Buch „Science Center MikroMondo – Ein Gruß aus der Küche“ (Abbildung 2).

In Deutschland fehlen vergleichbare, dauerhafte öffentlich-

keitswirksame Bildungsangebote aus dem Bereich der Mikrobiologie. Aktuell lässt sich die **Wanderausstellung *Inside You*** im Erlebniszoo Hannover besichtigen. Im Mittelpunkt der Ausstellung stehen das Mikrobiom und die spannende Interaktion zwischen Mensch und Mikrobe. Eine thematisch eng verknüpfte Ausstellung entstand im DFG geförderten Projekt des Robert Koch Instituts „**MenschMikrobe**“ (2010–2014).

Die Technische Universität Dortmund konzipierte eine Ausstellung über die Allgegenwärtigkeit der Mikroben mit dem Titel „**Überall Bakterien**“ (2020). In Stuttgart, Tübingen und Gramzow konnte man im Jahr 2023 die Sonderausstellung **MicroPop** besichtigen. Die Exponate entstanden aus einem interdisziplinären Zusammenschluss von Doktorand/-innen und Studierenden der Mikrobiom-Infektionsforschung sowie des Industrie- und Kommunikationsdesigns. Interdisziplinär arbeitet zudem das Forschungsprojekt **MIKROBIB**, welches mikrobiologische Analysen von spätmittelalterlichen Sammelbänden untersuchte. Ergebnisse der Forschung wurden in der digitalen Ausstellung „Die kontaminierte Bibliothek – Mikroben in der Buchkultur“ aufgearbeitet.

Eine künstlerische Auseinandersetzung mit dem Thema Bakterien offenbart sich in der Serie „**Microverse I**“ und „**Microverse II**“ von Kathrin Linkersdorff. In Zusammenarbeit mit Regine Hengge, Professorin für Mikrobiologie der Humboldt-Universität Berlin, wird das Wachstum farbiger Bakterienkolonien genutzt, um das Wechsel-

spiel vom Kommen und Vergehen in der Natur darzustellen. Die Arbeit der britischen Künstlerin Anna Dumitriu setzt ihren Fokus des Weiteren auf BioArt. Entstandene Exponate wie *Fermenting Futures*, *Plague Dress* oder *Syphilis Dress* setzen sich mit verschiedenen mikrobiologischen Themen auseinander.

Viele der aufgelisteten Projekte fanden als temporäre Sonderausstellung Einzüge in Museen. Es wäre erstrebenswert, solche Angebote dauerhaft im Bildungssektor zu etablieren.

Ergänzend zu Museen, Zoos und Botanischen Gärten sind Schülerlabore und *Science Center* als außerschulische Lernorte etabliert. Im offenen Labor der Universität zu Lübeck, kurz LoLa, des Schülerlabors BioLab an der Hochschule Flensburg oder dem Lernlabor Biologie als Kooperation zwischen der Technischen Universität Darmstadt und der MERCK-Schulförderung werden Kurse zu Themen der Mikrobiologie angeboten. Das Angebot ist spezialisiert auf Schulklassen und richtet sich im Gegensatz zu den vorgestellten Projekten nicht an die breite Öffentlichkeit.

### **Mikroben im Fokus**

Die öffentliche Wirksamkeit der verschiedenen Teilbereiche der Biologie spiegelt sich in den „Jahreswesen“ wider, die jedes Jahr von verschiedenen Fachgesellschaften gekürt werden. So gibt es für den Bereich der Zoologie den Vogel des Jahres, das Insekt des Jahres, das Höhlentier des Jahres oder auch das Wildtier des Jahres. Im Bereich der

**TAB 1. AKTUELLE AUSSTELLUNGEN AUS DEM FACHBEREICH DER MIKROBIOLOGIE**

Ausstellung	Website
ARTIS Micropia (Amsterdam)	<a href="http://micropia.nl">micropia.nl</a>
MikrobAlpina – Mikromondo (Innsbruck)	<a href="http://mikrobalpina.org">mikrobalpina.org</a>
<i>Inside You</i> (Erlebniszoo Hannover)	<a href="http://zoo-hannover.de/inside-you">zoo-hannover.de/inside-you</a>
Die kontaminierte Bibliothek – Mikroben in der Buchkultur	<a href="http://ausstellungen.deutsche-digitale-bibliothek.de/kontaminierte-bibliothek">ausstellungen.deutsche-digitale-bibliothek.de/kontaminierte-bibliothek</a>
Microverse I und II	<a href="http://kathrinlinkersdorff.com">kathrinlinkersdorff.com</a>
<i>Plague Dress, Fragile Microbiome</i>	<a href="http://annadumitriu.co.uk">annadumitriu.co.uk</a>
Bakteriopolis	<a href="http://tu-dresden.de/biologie/allgemeine_mikrobiologie/spp2389/bakteriopolis">tu-dresden.de/biologie/allgemeine_mikrobiologie/spp2389/bakteriopolis</a>



**ABB. 3** Kinder des Kinderspiel e. V. erkunden in Dresden die vielfältigen Formen von Bakterienkolonien. Das Foto entstand im Rahmen einer Projektwoche über die Organisatoren von Bakteriopolis.



**ABB. 4** Wanderausstellung Bakteriopolis.

Mikrobiologie kürt die VAAM (Ver­einigung für Allgemeine und Ange­wandte Mikrobiologie) seit 2014 die Mikrobe des Jahres und lenkt dadurch die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit auf Bakterien, Archaeen und eukaryotische Einzeller. Dabei sind die bisherigen Jahresmikroben vielfältige Vertreter aus den verschiedenen phylogenetischen Stämmen und Domänen wie *Nostoc* als Vertreter der Cyanobakterien (Domäne: Bacteria), *Halobacterium* als Vertreter der Euryarchaeota (Domäne: Archaeen) oder *Saccharomyces cerevisiae* aus dem Stamm der *Ascomycota* (Domäne: Eukaryota). Neben der Kürung der Mikrobe des Jahres stellt die VAAM Lehrma-

terialen für Schüler/-innen und Lehrende auf ihrer Website bereit (vaam.de). Die Interessen des gesamten Fachbereiches Mikrobiologie werden gebündelt und öffentlichkeitswirksam vermittelt. Mitglieder sind dabei hauptsächlich Fach- und Forschungsgruppen der verschiedenen Universitäten.

### **Bakteriopolis macht das Unsichtbare sichtbar**

Um die breite Öffentlichkeit über das Thema Bakterien zu informieren und für deren unsichtbare Welt zu begeistern, müssen jedoch weitere, neue Formate gefunden und gestaltet werden. Im Rahmen des DFG-geförderten Schwerpunk-

programmes „Emergente Funktionen der bakteriellen Multizellularität“ (SPP2389) arbeitet ein multidisziplinäres Konsortium verschiedener Arbeitsgruppen aus ganz Deutschland daran, die Sichtweise auf die Mikroben grundsätzlich zu verschieben. Der Fokus wird auf die komplexen, vielzelligen Eigenschaften des bakteriellen Mikrokosmos gelegt. Neben der Forschung wird innerhalb des Schwerpunktbereichs an der TU Dresden eine begleitende, öffentlichkeitswirksame Wanderausstellung konzipiert. Mittels partizipativer Forschung und interaktiver Stationen leitet **Bakteriopolis** (Abbildungen 3 und 4) in das Thema Multizellularität bei Bakterien ein. Spannende Fakten und erstaunliche Anwendungen werden thematisiert. Zudem kann mittels *Augmented Reality* das Modell einer Bakterienzelle von Besucher/-innen erkundet werden. Anhand von Wasserkefir und *Spirulina* erfährt man mehr über die nützlichen Aspekte der bakteriellen Multizellularität. Mitmachstationen zum Mikroskopieren oder Bakterienbasteln sollen dabei Jung und Alt gleichermaßen ansprechen. In Kooperation mit der VAAM werden zudem ausgewählte Mikroben der letzten Jahre thematisch eingebunden. Workshops für Schulklassen und Kitas finden an den wechselnden Standorten statt. **Bakteriopolis** wird im Jahr 2024 in Dresden, Leipzig sowie Berlin zu besichtigen sein und im Jahr 2025 seine Reise durch Deutschland fortsetzen. Die Ausstellung soll einen Grundstein für neue, dringend benötigte außerschulische Lernorte im Bereich der Mikrobiologie setzen. Ob ein Übergang von der temporären Ausstellungsphase hin zu einem dauerhaften Bildungsangebot gelingt, bleibt abzuwarten, wobei eine Angliederung der Mikrobiologie an vorhandene Zoo- und Botanikschulen in Zukunft denkbar wäre.

*Christin Baumgärtel, TU Dresden*

## ORNITHOLOGIE

## Eisvogel – je schillernder, umso attraktiver

... mit dieser Kurzformel lassen sich vielleicht etwas salopp, aber nicht weniger treffend die Ergebnisse tschechischer Ornithologen umschreiben. Das Eisvogelmännchen (*Alcedo atthis*, Abbildung 1) macht nicht nur eine schillernde Figur, was das Gefieder angeht. Der bunt schillernde Federschmuck ist offenbar gleichzeitig auch ein „Markenzeichen“, wenn es etwa darum geht, eine Familie zu gründen, denn es signalisiert „ehrlich“ die Qualität der Männchen. Dies hat das tschechische Forschungsteam in drei Jahren Freilandarbeit festgestellt.



**ABB. 1** Der Eisvogel (*Alcedo atthis*) besitzt ein schillerndes, farbenfrohes Gefieder.

Auffallen oder Tarnen ist die Devise bei der Gefiederfärbung von Vögeln. Und die Evolution hat sogar einen Ausweg aus dem Dilemma dieser entgegengesetzten Strategien gefunden, indem sie nur ein Geschlecht, meist das Männchen mit einem auffällenden Federkleid – dem Prachtkleid – ausstattet. Die mit dem Brutgeschäft befassten Weibchen kommen dagegen eher schlicht daher. Zwar bestätigen auch hier Ausnahmen die Regel, wie etwa bei den Wassertretern (*Pbalaropus* spp.), bei denen die „traditionellen“ Geschlechterrollen in der Brutpflege vertauscht sind. Bei der besser bekannten Stockente (*Anas platyrhynchos*) tragen die Männchen zur Brutzeit zwar das auffälligere Federkleid, wechseln aber bei der synchronen Mauser der Schwungfedern, bei der sie flugunfähig sind, zeitweise in ein Schlichtkleid, das sie rein äußerlich von den Weibchen nicht mehr unterscheidet. Schon so mancher Vogelbeobachter im Park wurde dadurch in die Irre geführt und glaubte zu-

nächst, eine „Überpopulation“ von Weibchen vor sich zu haben. Dieser „Tarnmodus“ soll in der vulnerablen Zeit der Flugunfähigkeit vor Beutegreifern schützen. Last, not least gibt es Vogelarten, die einzelne auffällende Gefiederpartien hinter tarnfarbigen Federn verbergen und nur bei Bedarf zur Schau stellen, wie die Großtrappe (*Otis tarda*) [1].

Der Gefiederschmuck nimmt aber auch in anderer Hinsicht eine Schlüsselstellung im Leben von Vögeln ein, ganz gleich ob die Farben durch Pigmente oder rein durch Lichtbrechung, also strukturell, zustande kommen. „Als alters- oder konditionsabhängig“ signalisieren sie „ehrlich die Qualität der Männchen als sexuell selektierte Merkmale, die die Variation der Brutleistung sowie die adaptive Geschlechterverteilung beeinflussen“, meinen tschechische Forscher. Damit wäre die Qualität und Brillanz des Farbefieders etwa mit der Ausprägung des Schnabelhöckers beim Höcker-schwan (*Cygnus olor*) vergleichbar. Auch bei ihm wird angenommen, dass er sich umso ausgeprägter darstellt, je besser die „Gesundheit, Fitness und körperliche Konstitution“ des Männchens ist.

### Glänzende Männchen – gute Familienperspektiven

Die tschechischen Forscher haben die Auswirkung des Alters der Männchen auf die Gefiederstrukturfarbe des Eisvogels (*Alcedo atthis*) untersucht und dabei Bruterfolg (Legeda-

tum, Gesamtzahl der Jungen pro Brutsaison, durchschnittliche Anzahl der Jungen pro Nest, Gesamtzahl der Bruten) und das Geschlechterverhältnis in Bezug auf zwei Ziermerkmale (Stirn- und Bürzelstrukturfarbe) hin näher betrachtet. Während des Untersuchungszeitraumes in den Jahren 2016 bis 2018 haben sie im Donauraum im Südwesten der Slowakei Daten von 49 Männchen, 102 Bruten und 645 Nestlingen gesammelt. Diese zeigen, so die Forschenden, „dass die Strukturfarbe ein konditionsabhängiges und altersempfindliches Signal ist, wobei Männchen mit höherem Gewicht weniger gesättigte blaue Stirnfedern und alte Männchen mehr gesättigte cyanfarbene Bürzelfedern aufweisen als junge.“ Außerdem variierte das Geschlechterverhältnis bei der Brut mit der Färbung der Männchen in einer altersabhängigen Weise, wobei die Gefiederfarbe der jungen Männchen keinen Einfluss auf das Geschlechterverhältnis in der Brut hatte. „Hingegen hatten alte Männchen mit zunehmender Intensität des cyanfarbenen Bürzels mehr Söhne als mattere Männchen. Weder ein einzelnes Ziermerkmal noch das Alter sagten die Brutleistung von Eisvogel-Männchen voraus“, fassen die Forschenden die Ergebnisse im *Journal für Ornithologie* zusammen. „Dennoch deuten die Ergebnisse darauf hin, dass das blaue Strukturgefieder der Eisvogelmännchen als Indikator für das Alter und eine bestimmte Art von Qualität dienen kann, was wiederum Auswirkungen auf die adaptive Geschlechtszuweisung bei dieser Art hat,“ so ihr abschließendes Fazit.

### Literatur

- [1] E. Bezzel, R. Prinzing (1990). Ornithologie, Ulmer-Verlag, Stuttgart, ISBN 3-8001-2597-8.
- [2] L. Rubáková et al. (2024). Male's age and plumage coloration predicts brood sex ratio in the Common Kingfisher (*Alcedo atthis*). *Journal of Ornithology* 165, 439–448, <https://doi.org/10.1007/s10336-023-02107-2>.

Wilhelm Irsch, Reblingen-Siersburg

## AUSSTELLUNG

## Mit Monet lernen, wie grauer Star das Sehvermögen ändert

*Der französische Impressionist Claude Monet ist für Biolog/-innen ein besonders faszinierender Maler. Zum einen befreite er als junger Künstler die Malerei aus den verstaubten Ateliers der Akademie und führte sie ins Freie. Zum anderen zeigt sein Spätwerk, wie sich die Sicht verändert, wenn sich im Alter die Augenlinsen trüben. Die Ausstellung „Monets Garten“ nähert sich dem Werk des Impressionisten auf interaktive Weise.*

Als junger Mann malte Monet die Natur, wie sie sich ihm zeigte: lichtdurchflutet, farbenfroh und lebendig. Viele seiner Gemälde feiern aber nicht nur die Schönheit der Natur. Sie sind auch clevere Studien, wie wir sehen und vor allem Licht und Farben wahrnehmen.

Auch Monets Spätwerk ist interessant, denn es gewährt Einblicke, wie sich das Sehvermögen ändert, wenn sich die Augenlinsen im Alter trüben. Heute werden graue Stare (Katarakte) gewöhnlich operiert, bevor sie die Sicht stark beeinträchtigen. Zu Monets Zeit aber waren solche Operationen noch riskant und führten immer wieder dazu, dass Betroffene ihr Augenlicht komplett verloren. Monet schob seine Star-Operation deshalb über Jahre hinaus – bis er schließlich fast erblindet war. In dieser Phase entstanden etliche Gemälde, die deutlich widerspiegeln, wie Monet durch seine trüber werdenden Linsen immer schlechter sah: Die Formen verschwimmen, Details gehen verloren und blaue sowie grüne Farben werden durch wärmere Gelb-, Rot-Orange- und Brauntöne ersetzt.

Beide Aspekte von Monets Werk können nun in einer kleinen, aber ansprechenden Ausstellung erlebt werden. Zu sehen gibt es keine Originale des Meisters. Stattdessen erwarten einen immersive und interaktive Exponate, die das Leben und Werk Monets auf spielerische Art näherbringen (Abbildungen 1–3).

Ein großer Saal ist beispielsweise vollständig mit riesigen Leinwänden

ausgekleidet, auf denen sich Bilder von Monet abwechseln – so groß und nah, dass man sich wie ein Teil von ihnen fühlt. Dazu wird das Le-

ben und Werk des Künstlers erklärt – so auch, wie der graue Star ihm zunehmend das Augenlicht raubte; wie er sich quälte, trotzdem weiter zu malen; seine Frustration, die ihn einige seiner Gemälde zerstören ließ; wie er sich nach langem Zögern schließlich doch zu einer Operation durchrang; sein Kampf, wieder gut genug zu sehen, um weitermalen zu können und am Ende sein Triumph und letztes Werk: die großformatigen Gemälde des Seerosenteichs in der Pariser Orangerie. Daneben gibt es verschiedene Exponate, die anschaulich erklären, warum Monets Bilder damals so revolutionär waren und andere, mit denen



**ABB. 1** Nachbildung der berühmten japanischen Brücke aus Monets Garten. Die Seerosen im Teich können von den Besucher/-innen selbst gestaltet werden.



**ABB. 2** Ausstellungssaal, in dem anhand großformatiger Bilder Monets Leben und Werk erläutert werden.

man auf spielerische Art interagieren und sich in Monets farbenfrohe Welt versetzen kann.

Die Ausstellung hat nicht den Anspruch, kunsthistorisch neue Erkenntnisse zu vermitteln. Sie ist bewusst niederschwellig und will auch solche Besucher/-innen – einschließlich Kinder – ansprechen, die nicht regelmäßig in Museen oder klassische Ausstellungen gehen. Und damit tritt sie in gewisser Weise in die Fußstapfen des Mannes, dem sie gewidmet ist: Sie führt uns zwar nicht ins Freie, aber sie verbindet mittlerweile etablierte Kunst mit neuen, digitalen Medien, lässt uns mit ihr interagieren und sie so auf eine neue Weise erleben.

Die Ausstellung „Monets Garten“ (www.monets-garten.de) war bisher in Frankfurt und München zu sehen. Zurzeit gastiert sie in Freiburg.

Ralf Dahm, Mainz

**ABB. 3** Eines der interaktiven Exponate, die Besucher/-innen durch ihre Bewegungen selbst gestalten können.



#### ZUM WEITERLESEN:

Wer mehr darüber wissen will, wie Katarakte das Sehvermögen verändern und das Werk von Claude Monet beeinflusst haben:

- Ralf Dahm (2005). Klare Sicht durch die Augenlinse. *Spektrum der Wissenschaft* 2/2005, S. 24–30
- Ralf Dahm (2003). Augenlinse: Zwischen glasklar und grauem Star. *Biologie in unserer Zeit* 33 (6), S. 366–374

## MENSCHEN

### 275. Geburtstag von Edward Jenner

*Widerstand gegen Impfungen gab es zu allen Zeiten. Die Debatten zur Corona-Impfung sind kein neuzeitliches Phänomen. Schon zu Zeiten als sich der englische Landarzt Edward Jenner mit den Menschenpocken beschäftigte, wetterten Kirchenvertreter „Gottlos!“ und druckten in Zeitungen Spottbilder, auf denen sich Geimpfte in Kühe verwandeln. Erste Impfgegnerorganisationen wurden 1869 in Leipzig und Stuttgart gegründet; in der Weimarer Republik hatte der Reichsverband zur Bekämpfung der Impfung rund 300.000 Mitglieder. Doch die Gegenargumente überwogen: Zwar wurden immer wieder durch mangelnde Hygiene und Unkenntnis Krankheiten auf Geimpfte übertragen; auch allergische Reaktionen sorgten für Tote. Und erst im Verlauf des 19. Jahrhunderts erkannte man, dass gegen Pocken bisweilen nur eine Zweitimpfung zum Ziel führte. Doch am Ende war der Pockenschutzimpfung der durchschlagende Erfolg nicht mehr abzusprechen.*

Am 17. Mai 1749 in der englischen Kleinstadt Berkeley (Gloucestershire) als achtens von neun Kindern des Vikars von Berkeley geboren, erlernte Edward Jenner (Abbildung 1)

bereits als 14-Jähriger die Chirurgie bei einem Wundarzt in Sudbury bei Bristol. Später, im Jahre 1770, begann er am *St George's Hospital* in London sein Studium bei dem



**ABB. 1** Edward Jenner, Pastell von John Raphael Smith, 1800. Abb. gemeinfrei.

damals berühmtesten englischen Mediziner John Hunter (1723–1793). Mit 23 Jahren kehrte Jenner nach Berkeley zurück, wo er fortan als Landarzt tätig war.

Hunter bemühte sich, der Medizin eine wissenschaftlich-physiologische Grundlage zu geben. Dazu führte er eine Reihe von Experimenten durch – am bekanntesten ist das einer Selbstinfektion mit dem Eiter eines Gonorrhoe-Kranken. Der junge Jenner war fasziniert vom wissenschaftlichen Streben, wurde von seinem „Mentor“ nachhaltig beeinflusst und lernte auch die Impfung (Inokulation) als Schutz gegen die Pocken kennen. Der Gedanke, die „Blattern“ auszurotten, hatte ihn schon seit langer Zeit beschäftigt. 1757 wäre er selber beinahe an einer Pockenimpfung gestorben: Der örtliche Apotheker hatte ihn mit dem Eiter eines anderen, an Pocken erkrankten Menschen infiziert.

### Impfung gegen „Schwarze Blattern“

Jenner begann seine Studien 1775. Im Jahr 1796 kam der wissenschaftliche Durchbruch in Form einer Schutzimpfung, als Jenner während einer Epidemie den achtjährigen James Philipps mit Kuhpocken infizierte, die er einer erkrankten Magd entnommen hatte. Da es noch keine Spritzen gab, ritzte der Mediziner die Krankheitserreger unter die Haut am Oberarm des Jungen. Philipps, der stark ansteckungsgefährdet war, erhielt wenige Wochen nach der Impfung frischen „echten Pockenstoff“ – und blieb gesund. Was damals noch einem Versuch am Menschen gleichkommt, ist ein Meilenstein im Kampf gegen die gefürchtete Seuche, denn das Kind war nun gegen Menschenpocken immun. Jenners Hypothesen hatten sich bestätigt.

Jenner nannte sein Verfahren „Vaccination“, nach *vacca*, dem lateinischen Wort für Kuh. Daraus leitet sich der heutige Begriff für die Impfung ab: Vakzination. Um seine Methode bekannt zu machen, schrieb Jenner darüber einen Artikel für die renommierte Wissenschaftsgesellschaft *Royal Society*. Diese wies die Publikation aber zunächst zurück, weil der Arzt seine Impfung

nur an einer Person getestet hatte. Doch Jenner ließ sich von seiner Forschung nicht abbringen. Er impfte weiter und stellte dabei fest, dass die Kuhpockenlymphe nur in einem bestimmten Stadium ihrer Entwicklung Schutz bietet. Auch ohne öffentliche Anerkennung verbreitete sich die neue Impfmethode und die Todesfälle gingen zurück. 1798 publizierte der Brite seine Forschungsergebnisse – die Wirksamkeit der Pocken-Impfung war belegt.

### Frühe „Impfversuche“

Jenner lebte in einer Zeit, in der Infektionskrankheiten noch verheerende Auswirkungen auf das Leben der Menschen hatten. So starben beispielsweise 1753 in Turin 31.000 und von 1794 bis 1796 in Nord- und Ostdeutschland etwa 200.000 Menschen an den Pocken. Aus Gebieten, in denen Pocken häufig auftraten, war bekannt, dass Menschen, die sich mit Absonderungen Pockenkranker infiziert und eine leichte Erkrankung durchgemacht hatten, immun gegen diese Krankheit waren. Und bereits im 12. Jahrhundert entnahm man z. B. in China von Pockenkranken Eiterkrusten, verrieb sie im Mörser und schnupfte dann

den Staub. In Indien ritzte man das Krustenmaterial in die Haut ein. Die Frau des englischen Gesandten in der Türkei, Lady Mary Wortley Montagu, hatte diese Methode erfolgreich bei ihren eigenen Kindern angewendet und machte sie nach ihrer Rückkehr 1721 in England bekannt. Da man die Erreger nicht dosieren konnte und häufig auch echte Pocken mit schwerer Haut- und Hirnbeteiligung auslöste, an der auch Patienten starben, blieb der entscheidende Durchbruch zunächst noch verwehrt.

Jenner hatte beobachtet, dass Landwirte, die sich mit den für Menschen im Allgemeinen sehr viel weniger gefährlichen Kuhpocken infiziert hatten, an den eigentlichen Pocken nicht oder nur noch leicht erkrankten. Damals hatte man weder von der Existenz und der Wirkungsweise des menschlichen Immunsystems noch vom Pockenvirus konkrete Vorstellungen – Viren wurden erst 100 Jahre später entdeckt. Heute lässt sich die Beobachtung Jenners so erklären, dass das Kuhpockenvirus und das humane Pockenvirus zwar zwei verschiedene, aber dennoch in manchen Buchstabenfolgen ihrer Proteine sehr ähnliche Viren sind. Das Kuhpockenvirus ist

### VOGELPOCKEN



In den letzten Jahrzehnten wurde vermehrt über das Auftreten von Vogelpocken bei wildlebenden Vögeln, insbesondere bei Kohlmeisen und anderen Meisen berichtet. Auffällig sind monstros warzenartige Wucherungen am Kopf und anderen Körperstellen (Abbildung 2). Befallen sind Kohl- und Sumpfmeisen, die die Wucherungen meist am Kopf und Hals, seltener an Brust, Bauch, Beinen und Flügeln aufweisen. Jahreszeitlich fallen die meisten Fälle zwischen Oktober und April. Auch Zilpzalp und Mehlschwalbe sind betroffen. S. Bosch (2017). *Orn. Mitteilungen* 69, 1–36.

**ABB. 2** An Vogelpocken erkrankte Meise. Foto: W. Irsch.

optimal für die Infektion von Rindern angepasst und verursacht beim Menschen nur schwache Symptome. Das menschliche Immunsystem bildet aber gegen die Proteine des Kuhpockenvirus spezifische Antikörper, die aufgrund der Ähnlichkeit der beiden Viren zueinander auch die Proteine des Humanvirus erkennen. So ist der mit dem Kuhpockenvirus Geimpfte wenigstens teilweise immun gegen die Infektion mit dem Humanpockenvirus – ein Immunisationsprinzip, das als aktive Immunisierung mit einem lebenden (aber in diesem Beispiel von Natur aus für den Menschen abgeschwächten) Virus, bekannt ist [1].

### Die Welt ist pockenfrei

Erst 1874, 80 Jahre nach Jenners Entdeckung, wurde in Deutschland als erstem Land die Pockenschutz-

impfung gesetzlich eingeführt. In den zurückliegenden Jahrhunderten hatte die gefährliche Viruskrankheit, die mit hohem Fieber und einem typischen Hautausschlag einhergeht, für Millionen Tote weltweit gesorgt. „Die Pocken waren immer da, füllten die Kirchhöfe mit Leichen, peinigten den Verschonten mit ständiger Angst, hinterließen an dem mit dem Leben Davongekommenen die scheußlichen Spuren ihrer Macht“, so schilderte der englische Historiker Thomas Macaulay (1800–1859) die Auswirkungen der Krankheit.

Im Dezember 1979 gab die Weltgesundheitsorganisation (WHO) bekannt, dass die Pockenkrankheit auf der Welt nicht mehr vorkommt und deshalb Pockenimpfungen nicht mehr durchgeführt werden brauchen.

Seit 1980 gilt die Welt nunmehr als pockenfrei – ein riesiger Erfolg vor allem des Impfprogramms der Weltgesundheitsorganisation WHO, aber auch des Impfpioniers Edward Jenner, dessen Lebenswerk u. a. in einer lebensgroßen Marmorstatue in der mittelalterlichen Kathedrale im englischen Gloucester gewürdigt wurde. Dort steht er – mit wallendem langen Mantel und einer Schriftrolle in der Hand – nahezu lebensecht und erinnert an einen medizinischen Meilenstein. Der physisch echte Wohltäter der Menschheit starb vor gut 200 Jahren, am 26. Januar 1823, in Berkeley.

### Literatur

- [1] Walter Doerfler (1996) Viren, Springer Verlag Berlin Heidelberg ISBN 3-540-60526-6

Wilhelm Irsch, Reblingen-Siersburg

## BUCHBESPRECHUNG

### Artenreiche bukolische Landschaft – wie schaffen wir sie?

*Wer dieses Buch liest, lernt nicht nur etwas über die Kuh, sondern er erweitert seinen Horizont über Naturschutz, Artenschutz und Landschaftsgestaltung. Es wird heutzutage so viel über Natur- und Umweltschutz geredet – dafür gibt es Vereine, Ämter und Ministerien –, aber die Kuh wird von allen Institutionen vernachlässigt. Wer daran zweifelt oder das für abwegig hält, der lese dieses Buch. Aber er wird dazu mehr als einige Tage brauchen, denn die Fülle der vom Autor recherchierten Details lässt sich nicht an wenigen Abenden einsehen und verstehen.*



Dieses Buch, obwohl nur 257 Seiten lang, ist voll von detaillierten Recherchen über die Kuh, über ihre Haltung, ihre Bedeutung für die Landwirtschaft, ihre Rolle in der Landschaftsgestaltung und ihren Einfluss auf das Weltklima. Das Wichtigste aber ist die Sichtweise zum Natur- und Arten-

schutz. Kühe haben über Jahrtausende in Mitteleuropa die Landschaft offengehalten und verhindert, dass der Wald zu dicht wird. Beides sind elementare Voraussetzungen für die Erhaltung vieler gefährdeter Arten. Florian Schwinn träumt davon, dass es möglich sein könnte, die Kuh wieder aus den Ställen herauszuholen und zur Beweidung der Landschaft einzusetzen. Das dürfte kaum realisierbar sein, aber es lohnt sich, die Perspektiven zu durchdenken.

Immerhin leben wir in den Jahrzehnten eines drastischen Artenschwundes, und die Naturschutzvereine, -ämter und -ministerien haben das nicht wirklich aufhalten können. Das Buch wendet sich gegen die gegenwärtige Erstarrung des Natur- und Artenschutzes in überkommene Ideologien des vorigen Jahrhunderts und zwingt zum Umdenken. Es wendet sich gegen die Zielsetzungen der großen Naturschutzverbände, die heute in der Rückschau weniger vom Erfolg gekrönt sind als vielmehr vom Anstieg der Mitgliederzahlen ihrer Gläubigen.

Einen Großteil der Seiten dieses Buches nimmt das Spezialwissen über die Kuh ein: ihre Haltung, ihre Pflege, ihre Züchtung, ihren Stoffwechsel und die Milchgewinnung (Kapitel 1). Die vielen Details und Fallstricke, die bei einer Weidehaltung zu beachten sind, werden ausführlich aufgeschlüsselt. Auch die einzelnen Rinder- und Pferde-Züchtungen für die Ganzjahres-Beweidung (Heckrinder, Galloways und Koniks) werden an mehreren Bei-



spielen vorgestellt, dort wo die Beweidung auf begrenzten Flächen Erfolge zeigt.

Für viele Leser aber dürfte es interessanter sein, etwas über die Bedeutung der Kuh für den Naturschutz, den Artenschutz, die Landschaftsgestaltung und das Klima zu lernen. Dazu erfährt er (neben den einleitenden Kapiteln) viel am Ende des Kapitels 1 und in den Kapiteln 2 und 3. Im Kapitel „Weide für Heide“ wird dargestellt, wie ein ehemaliger Truppenübungsplatz durch technische Eingriffe und Beweidung zu dem für viele seltene Arten wertvollen Gebiet „Oranienbaumer Heide“ umgestaltet wurde. Der Leser lernt vor allem, dass die damalige Forderung der Naturschutzpolitik, die verlassenen Truppenübungsplätze „der Natur zurückzugeben“ als artenfeindlich einzustufen ist; denn nachdem das Gebiet nach 20 Jahren „Sukzession“ sich selbst überlassen worden war, war es zu einer für die Biodiversität wertlosen Wildnis geworden. Dem Leser wird klar, dass die damalige Naturschutzgesinnung, dass „Wildnis“ artenfreundlich sei, auf viele bedrohte Arten in Mitteleuropa nicht zutrifft.

### Was ist „schön“?

Das Buch von Florian Schwinn erhebt einen hohen Anspruch. Schon auf S. 12 wird uns versprochen: „Wir zeigen, wie wir mit Kühen den Klimawandel aufhalten, die Biodiversität wiederherstellen, die Landschaft verschönern und den Naturschutz stärken können.“ Das sind wahrhaft hehre Ziele; denn der anthropogen verursachte drastische Rückgang der Biodiversität gehört heute zu den schärfsten Eingriffen des Menschen in Bezug auf die Zukunft des Lebens auf der Erde.

Das Buch vermittelt uns ein anderes Bild von „schöner Landschaft“ und die Grundlagen der Biodiversität, als es uns fast täglich über die Medien mitgeteilt wird. Gleich auf den Seiten 16 und 17 heißt es: „So gestalten [die Galloway-Rinder] die Landschaft, halten sie offen und

machen die Landschaft zur nordischen Savanne und damit [zur...] biologischen Vielfalt.“ [diese Landschaft] hat die Weite, den Horizont, die Höhe des Himmels“. Was ist eigentlich eine „schöne“ Landschaft, so wie sie in der griechischen und römischen Mythologie gepriesen und in der Renaissance wiederentdeckt wurde? In Mitteleuropa ist das nicht der unberührte „Urwald“; es ist der ungehinderte Blick über die Fluren in die Ferne. Da braucht man sich nur einmal die vielen Gemälde der vergangenen Jahrhunderte anzusehen. Auf S. 20 lernt man den Begriff „Psychotop“ kennen: Das ist der Biotop, den man sich aus seelischem Verlangen heraus am meisten wünscht.

Auf S. 15 heißt es: „In Deutschland, in Mitteleuropa, sind die offenen Landschaften belebter als der dichte Wald“. Das ist wahr, wird aber in Deutschland von den meisten Menschen nicht geglaubt. Viele Ziele im Naturschutz sind Glaubensbekenntnisse, und dazu gehört, dass der Wald das Heil einer gesunden Natur und (selbstverständlich) die Heimat der Tiere ist. Bücher, die dies propagieren, sind fortlaufende Bestseller – bis hin zum Gefühlsleben der Bäume. Allein schon deswegen ist das neue Buch von Florian Schwinn mehr als eine verständlich zu lesende Unterhaltung. Es korrigiert entgleiste Naturschutzideologien und vor allem die Waldverherrlichung.

Und weiter auf S. 17 und 18 heißt es: „Nein, es geht hier nicht um Ursprünglichkeit, nicht um Wildnis, nicht um unberührte Natur“, und das Buch nimmt eindeutig Stellung gegen die Wildnis: „Wildnis wächst, wenn »die Natur«, wer immer das ist, einfach machen darf“ und: „Wir leben aber nicht in einer Weltgegend, die komplett zuwachsen sollte, wenn wir die Artenvielfalt erhalten wollen.“ Aber genau diese Thesen als Grundlage für einen spezifischen Artenschutz in Mitteleuropa will ein Großteil der Bevölkerung nicht hören; denn die

Emotion wird von Vorstellungen einer „Ursprünglichkeit“ und einer „unberührten Natur“ mehr bezaubert als von einer rationalen Einschätzung der wirklichen Grundlagen unseres erschreckenden gegenwärtigen Artenschwundes. Mit „Natur Natur sein lassen“ ist da wenig zu machen.

Sehr erfrischend sind Sätze, die gegen die Erstarrung des europäischen Naturschutzes vorgehen, wie z. B. auf S. 28: „Der europäische Naturschutz muss sich [vom] Konservieren und Bewahren verabschieden“.

### Regulation durch freie Weidetiere

Im Kapitel „Die Kuh-Klima-Lüge“ wird auf der Basis einer ganzen Reihe von Publikationen die Auffassung vertreten, dass es falsch sei, den Methanausstoß der Rinder weltweit als wesentliche Mit-Ursache unserer Klimaerwärmung zu bezeichnen. U. a. wird argumentiert, dass die wilden Wiederkäuer der Vorzeit (die wir dezimiert oder ausgerottet haben) ja auch Methan produziert hätten. Dabei wird jedoch unterschlagen, dass das bei weitem keine Milliarde war wie der heutige Rinderbestand. Auf S. 126 erfährt man, dass auch künstlich vernässte Reisfelder Methan in die Atmosphäre abgeben, so dass Reisesser als Klimaschädiger bezeichnet werden könnten.

Im Kapitel „Wolfsland“ wird dem Leser klar, dass der Wolf alles andere ist als eine Bereicherung unserer Natur. Arten- und Naturschützer tun gut daran, die Rückkehr des Wolfes nicht zu begrüßen. Es gibt in Deutschland bereits weit über tausend Wölfe, und sie leben in allen Bundesländern. Sie sind nicht mehr das, was sie in früheren Jahrhunderten waren. Sie sind keine Regulatoren gesunder Wildbestände mehr, sondern wir füttern und vermehren sie durch das Angebot einer leichten Beute genau dort, wo die letzten freien Weidetiere noch eine bedeutende Rolle spielen und daher

gefördert werden sollten, z. B. die Schafe auf den Küstendeichen. Ausgerechnet eines der wichtigsten Artenschutzziele, die Ausweitung extensiver Beweidung durch Nutztiere, wird durch den Wolf verhindert. Hühner- und Schweinefabriken sind nicht vom Wolf bedroht. Da der Wolf unter Artenschutz steht, aber den Naturschutz erheblich schädigt, zerstört er das in der Öffentlichkeit entstehende Image des Arten- und Naturschutzes.

Das Kapitel „Feldversuch“ behandelt den Polder Oostvaardersplassen am südöstlichen Rand des IJsselmeeres in den Niederlanden. Hier wird die Natur ganz rigoros sich selbst überlassen, aber unter Einwirkung von Heckrindern, Kojaks, Rothirschen und sehr vielen wilden Graugänsen, die das Aufkommen von zu viel Schilf, Büschen und Bäumen verhindern. Hier bekommt man ein völlig anderes Verständnis von „Natur Natur sein lassen“, weil hier nicht die dichten Wälder aufwachsen, sondern alles durch die Weidetiere reguliert wird. Nach dem Verständnis von Frans Vera, dem Chef-Regulator des Polder Oostvaardersplassen, ähnelt eine solche Form von „Natur“ eher den ursprünglichen postglazialen Landschaften als die dichten Wälder, wie sie heute z. B. im Nationalpark „Bayerischer Wald“ zu finden sind. Dass die Weidetiere in dieser Artenschutz-Polder sich selbst überlassen werden, ruft den Protest der Tiereschützer hervor, weil die Weidetiere auch krank werden und sterben, ohne dass ihnen geholfen wird. So etwas treibt die Bevölkerung viel eher auf die Barrikaden als unsere

heutige Situation eines erschreckenden zunehmenden Artenschwundes. Jeder versteht das Leiden eines kranken Tieres, aber die Wenigsten fühlen sich vom Rückgang so vieler Arten betroffen.

### **Wider den Ordnungswahn**

Überhaupt macht dieses Buch sehr gut klar, dass Umweltschutz, Naturschutz, Artenschutz und Tierschutz sehr verschiedene Zielsetzungen verfolgen, während alle vier Ziele in den Medien oft zusammengeworfen werden und die vier Begriffe sogar miteinander verwechselt werden. Hier ist noch viel Aufklärung erforderlich.

Im Kapitel „Rückkehr der Vielfalt“ wird uns deutlich gemacht, dass die Wissenschaftler immer noch nicht zu einem abschließenden Urteil gekommen sind, in welchem Ausmaß die mitteleuropäische Landschaft nach dem letzten Glazial (also im Holozän) dicht bewaldet war oder durch die Einwirkungen des sesshaften Menschen und seinem Vieh bereits von Anfang an große Offenlandflächen enthalten hat. Die Pollenanalyse ist unzureichend, und auch die Bodenuntersuchungen geben nur ein unsicheres Bild über das Ausmaß der neolithischen Brandrodungen. Hier stehen sich verschiedene Standpunkte kontrovers gegenüber.

Die beiden Kapitel „Migranten“ und „Natur oder Naturschutz“ räumen auf mit den Wunschvorstellungen von einer „unberührten Natur“ in Deutschland. Mitteleuropa wurde nach der letzten Vereisung überwiegend von Offenland-Arten aus dem Osten und Süden besiedelt – also

von Steppen- und Lichtwaldarten –, so dass wir mit dem Wunsch nach einer vom Menschen unbeeinflussten Natur hier Habitats schaffen würden (nämlich dunkle Wälder), die nicht die Lebensräume für viele der heute für Deutschland typischen Arten sind. Viele Arten, die das Landschaftsbild Mitteleuropas prägen, sind nicht die Bewohner einer auf sich selbst angewiesenen Natur, so wie sie wäre, wenn der Mensch nicht mehr in die Landschaft eingreifen würde. Um viele der heute gefährdeten Arten zu retten, brauchen wir nicht Naturschutz, sondern artgerechte Landschaftsgestaltung. Im Kapitel „Wunderbare Unordnung“ lernen wir, dass der Ordnungswahn ein nicht unbedeutender Artenkiller ist. So wie wir die Natur in Ordnung bringen wollen, so wollen viele Tiere die Natur nicht haben.

Auch wenn viele dieser Thesen einer Mehrheitsmeinung widersprechen und auch unter Fachleuten kontrovers diskutiert werden, so ist dieses Buch ein Wachrüttler gegen ein verbreitetes saturiertes Naturschutzbewusstsein und sollte auch für kritische und entgegengesetzt eingestellte Leser eine willkommene Lektüre sein.

*Werner Kunz, [www.kunz.bbu.de](http://www.kunz.bbu.de)*

### **Die Klimakuh.**

Von der Umweltsünderin zur Weltenretterin. Florian Schwinn, Westend Verlag, Frankfurt am Main, 2024, 256 S., 24 Euro, ISBN 978-3-86489-421-3.



*Stylodinium* ist Alge des Jahres 2022

# Ein Botschafter gegen Artensterben und für Forschungsbedarf

MARC GOTTSCHLING | URBAN TILLMANN

Die Besonderheit von Mooren als Lebensraum spiegelt sich in der Außergewöhnlichkeit der dortigen Lebensgemeinschaften wider. Das norddeutsche Tiefland war eine der moorreichsten Gegenden der Erde; ihr Erhalt als effektiver CO<sub>2</sub>-Speicher spielt eine entscheidende Rolle bei den Maßnahmen zum Klima- und Artenschutz. Vor allem die Entwässerungen der vergangenen Jahrhunderte und Jahrzehnte haben zu einem starken Rückgang dieser Lebensräume geführt, die ursprünglich eine einzigartige Biodiversität beheimateten. So kann die sonderbare Aufsitzeralge *Stylodinium* durchaus als Botschafter des Mikrokosmos für das Artensterben durch Lebensraumzerstörung dienen wie der Eisbär auf seiner zerfallenden arktischen Scholle in der makroskopischen Welt. Die immer seltener werdenden Berichte von *Stylodinium* in der Fachliteratur mögen auch ein Ausdruck dafür sein, dass

das natürliche Vorkommen der Alge im Zuge des Biosphärenwandels besorgniserregend schrumpft.

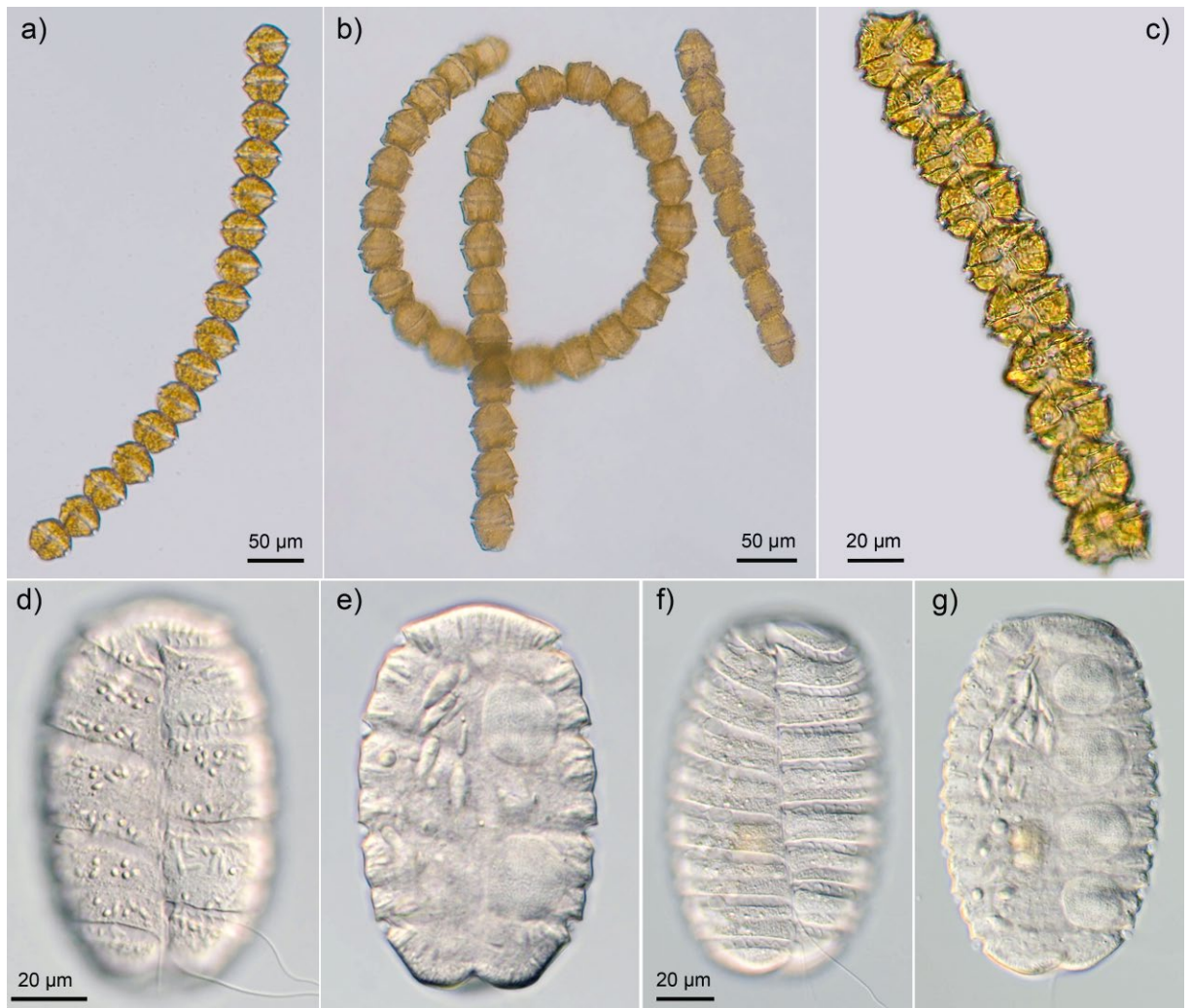


**ABB. 1** Die verkehrt-eiförmige Alge *Stylodinium* cf. *bavariense* von der Typuslokalität aus den ehemaligen Torfstichen nahe des bayerischen Seeon heftet sich mit einem Stiel an eine fadenförmige Alge, nachdem sie ihr umher-schweifendes Stadium aufgegeben hat. Lichtmikroskopische Aufnahme: Corinna Romeikat.

Das Kieshofer Moor in Mecklenburg-Vorpommern ist Typuslokalität von *Stylodinium lindemannii* und ein typisches Habitat für das Vorkommen epiphytischer Dinophyceen. Soweit wir wissen, ist *Stylodinium lindemannii* seit seiner Beschreibung dort nicht mehr angetroffen worden, und auch wir haben in einer ersten Feldkampagne die Alge dort nicht finden können. Foro: Hans Joosten.

Die mit einem grünen Pfeil markierten Begriffe werden im Glossar auf Seite 244 erklärt.

**ABB. 2** Kettenbildung (a–c) oder andere KoloniefORMEN (d–g) bei Dinophyceen: (a) *Alexandrium catenella* (Gonyaulacales); (b) *Gymnodinium catenatum* (Gymnodiniales); (c) *Peridiniella catenata* (incertae sedis); (d, e) *Polykrikos kofoidii* (Gymnodiniales); (f, g) *Polykrikos schwartzii* (Gymnodiniales).



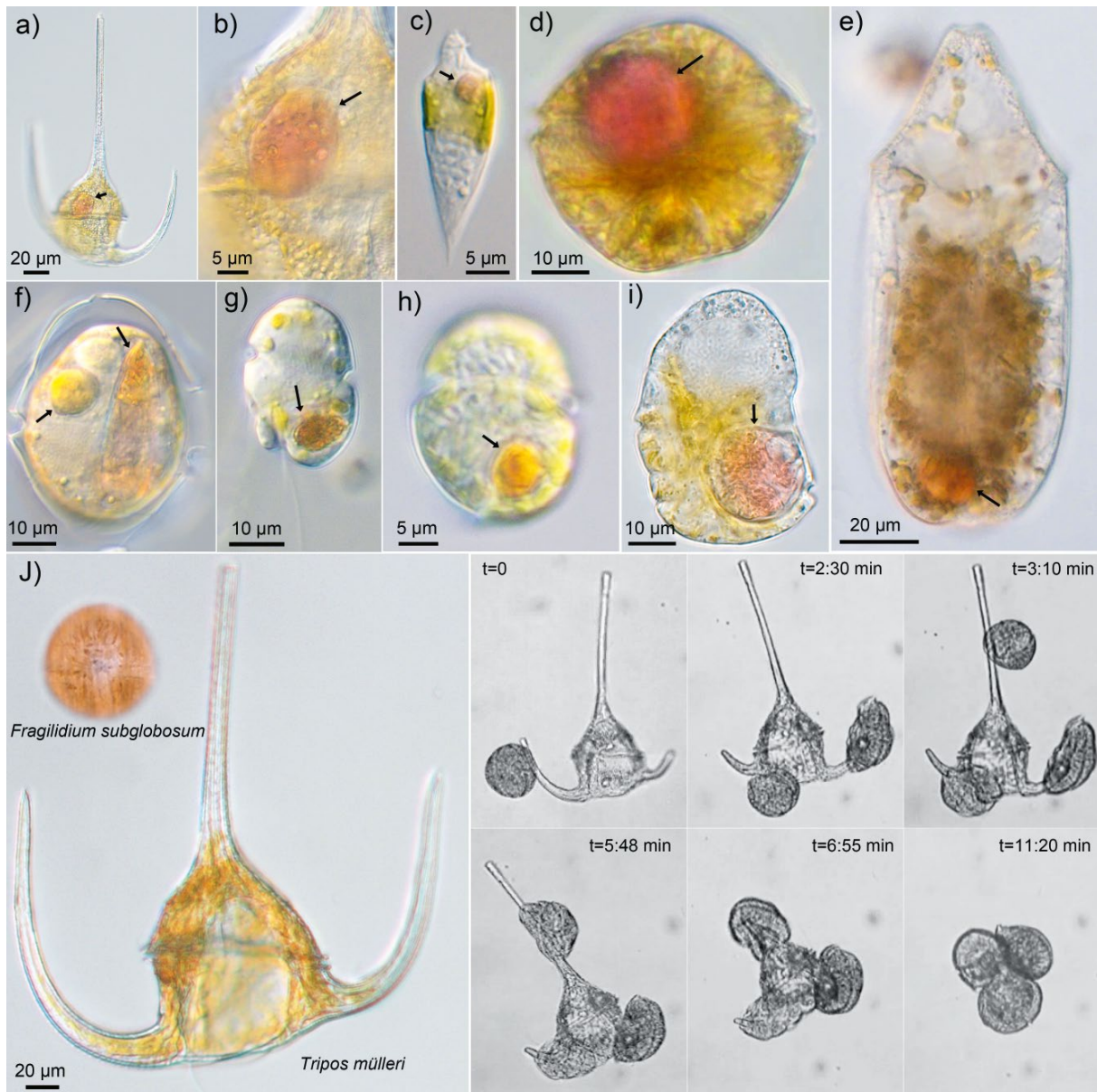
Die Aufsiedlung (► Epökie) von Pflanzen (Epiphytismus) ist ein vor allem in den Tropen verbreitetes Phänomen und resultiert dort aus dem Wettbewerb der Organismen um Licht. Berühmte Beispiele für diese Lebensweise liefern Flechten, Farne, Bromelien und Or-

chideen. Epiphytismus ist aber auch aus aquatischen Habitaten aller Klimazonen bekannt und wird dort von mitunter einzelligen Algen betrieben [1–3]. Einige dieser Algen bilden besondere Strukturen aus wie kleine Stiele, mit denen sie sich auf einem Träger vorübergehend oder dauerhaft festheften. Auch der Panzergeißler *Stylodinium* (Dinophyceae) geht dieser ungewöhnlichen Lebensweise nach (Abbildung 1), doch ist das Wissen über diesen Einzeller immer noch sehr gering. Um den immensen Forschungsbedarf an den Organismen im Mikrokosmos hervorzuheben, wurde *Stylodinium* von der Deutschen Botanischen Gesellschaft 2022 zur Alge des Jahres gewählt.

Die Bildung des Stiels von *Stylodinium* ist bislang sehr selten beobachtet worden [4]. Unter dem Mikroskop sondert die zunächst bewegliche Mikroalge an ihrem vorderen Ende (und mutmaßlich durch die ► Apikalpore) eine klebrige, erstarrende Masse ab. Das ermöglicht ihr ein Festhalten an Organen und Zellen anderer Organismen wie der Grünalge *Oedogonium*. Durch eine anschließende Rückwärtsbewegung wird der erstarrende Stiel ausgebildet, mit dem die Alge eine Zeit lang auf ihrem Träger

## IN KÜRZE

- Die Artenvielfalt eukaryotischer Einzeller ist weit weniger gut erschlossen als die der Pflanzen und Tiere, da dies **methodisch meist erheblich aufwändiger** ist.
- Eukaryotische Einzeller haben mutmaßlich **enorme ökologische Bedeutung**, doch sind die genauen biotischen und abiotischen Interaktionen in den seltensten Fällen gut erforscht.
- Panzergeißler (wissenschaftlich Dinophyceae oder Dinoflagellata) sind eine **eigenständige Entwicklungslinie eukaryotischer Einzeller**, von denen einige gefährliche Toxinbildner sind.
- Die Vielfalt der Panzergeißler umfasst **photo-, hetero- und mixotrophe Arten** und Spezialisierungen in der Lebensweise wie Epökie, Endosymbiose und Parasitismus.
- Die Zellwand setzt sich aus einem **art- und gruppenspezifischen Muster aus Zelluloseplatten** zusammen, der Theka.
- Viele Arten von Panzergeißlern **haben morphologisch und ökologisch differenzierte Entwicklungsstadien**, die als Vermehrungsform im Plankton und als Überdauerungsform im Sediment anzutreffen sind.



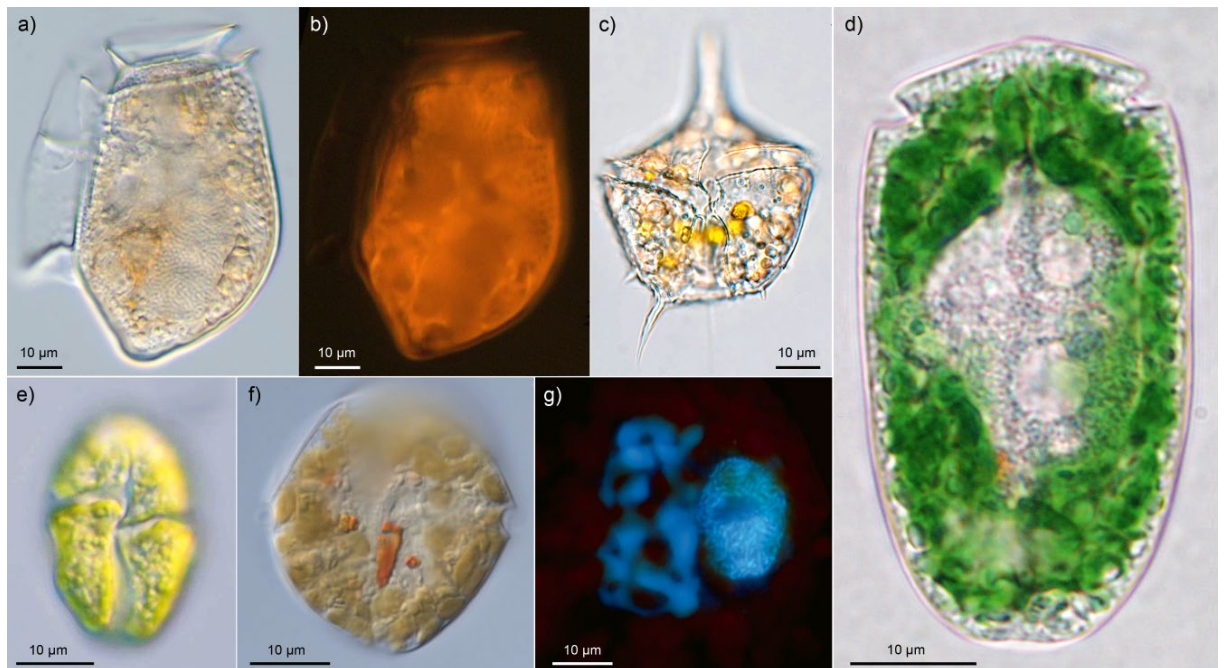
**ABB. 3** Mixotrophe Dinophyceen mit Nahrungseinschlüssen (Pfeile): (a, b) *Triplos mülleri* (Gonyaulacales); (c) *Oxytoxum* sp. (Prorocentrales); (d) *Alexandrium pseudogonyaulax* (Gonyaulacales); (e) *Spatulodinium pseudonoclituca* (Noctilucales); (f) unidentifizierte, gonyaulacoide Art; (g, h) unidentifizierte, gymnodinioide Arten; (i) *Margalefidinium* sp. (*incertae sedis*); (j) die mixotrophe Dinophycee *Fragilidium subglobosum* (Gonyaulacales) frisst die Dinophycee *Triplos mülleri* (Gonyaulacales, Einzelbilder einer Videosequenz).

siedelt. Auf diese Weise wird aus einem beweglichen ein unbeweglicher Einzeller. Ein ähnlicher Prozess wurde für das marine Pendant von *Stylodinium* beschrieben, dessen Stielbildung etwas mehr als eine Stunde dauert [5]. Über die Beschaffenheit des Stiels ist ebenfalls wenig Wissen erarbeitet worden – zumindest bei *Halostylodinium* sind Elemente des für thekate Dinophyceen charakteristischen Apikalporenkomplexes beteiligt [5]. Außerdem konnte bei bestimmten Dinophyceen beobachtet werden, wie sich in der angehefteten Zelle durch Teilung Tochterzellen bilden, die die dann leere Mutterhülle nach deren Aufreißen verlassen [4–6]. Es ist derzeit noch unbekannt,

ob diese Teilungen mitotisch (vegetativ) oder meiotisch (sexuell) erfolgen.

### Vielfalt der Panzergeißler

Die Panzergeißler oder Dinophyceen bilden eine eigenständige Linie fast ausschließlich einzelliger Organismen [7] und sind mit den Wimperntierchen (Ciliata) und Sporentierchen (Apicomplexa) verwandt (heute gemeinsam als Alveolata bezeichnet). Nur bei einigen Arten beobachtet man Kettenbildung und andere kolonieartige Lebensformen (Abbildung 2) oder eine einfache trichale Organisation (beispielsweise *Dinobrix*, Peridinales).

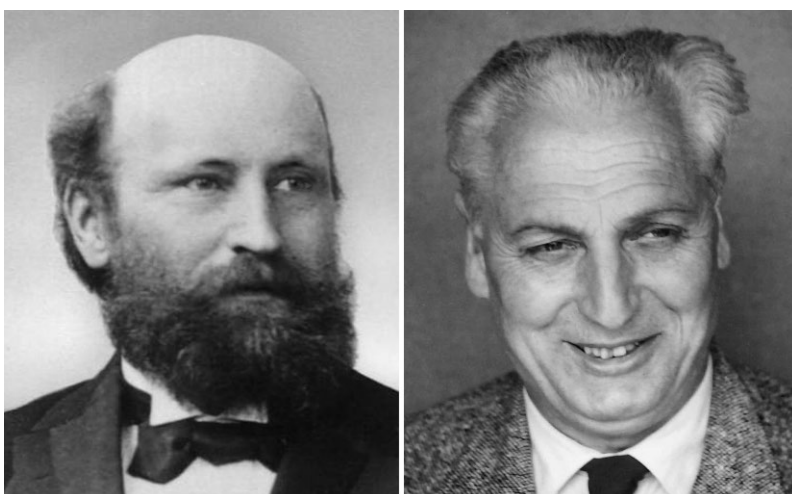


**ABB. 4** Dinophyceen mit unterschiedlichen Endosymbiosepartnern, die allesamt einen unabhängigen evolutionären Ursprung haben. (a, b) *Dinophysis acuta* (Dinophysales) mit Kleptochloroplasten, die aus Schlundgeißlern (erkennbar an der orangen Autofluoreszenz der Plastiden in b) hervorgegangen sind; (c) *Amylax triacantha* (Gonyaulacales) mit Kleptochloroplasten, die aus Schlundgeißlern hervorgegangen sind; (d) *Nusuttodinium myriopyrenoides* (Gymnodiniales) mit Kleptochloroplasten, die aus Blaualgen hervorgegangen sind; (e) *Lepidodinium chlorophorum* (Gymnodiniales) mit sekundärer Endosymbiose einer Grünalge; (f, g) *Kryptoperidinium triquetrum* (Peridinales) mit tertiärer Endosymbiose einer Kieselalge, erkennbar an der Präsenz zweier Kerne (g), dem runden Dinophyceen-Kern mit kondensierten Chromosomen (rechts) und dem unregelmäßigen Kern der Diatomee (links). Abb. 4d: Mjung Gil Park.

Ökologisch sind Panzergeißler ausgesprochen vielfältig, und neben ► phototrophen kommen ► heterotrophe und ► mixotrophe Formen gleichermaßen vor [8] (Abbildung 3). Die meisten photosynthetisch aktiven Arten haben Chloroplasten, die aus ► sekundärer) Endosymbiose einer

Rotalge hervorgegangen sind, und manche Arten ‚stehlen‘ ihrer Beute sogenannte Kleptoplastiden (siehe ► Kleptochloroplast, Abbildung 4). Darüber hinaus gibt es bei Panzergeißlern aber auch das Phänomen der ► tertiären Endosymbiose mit Kieselalgen oder Kalkalgen als Partner [9], die den ursprünglichen Chloroplasten ersetzen. Bei weiteren organismischen Interaktionen helfen Dinophyceen ihrerseits als Endosymbionten Korallenriffe aufzubauen, und andere parasitieren an Fischen oder Einzellern. Zweifelhafte Berühmtheit haben Dinophyceen auch als potente Toxinbildner gewonnen [10], deren Giftstoffe für den Menschen bedrohlich sein können, wenn sie sich in anderen Organismen im Rahmen der Nahrungskette anreichern.

*Stylodinium* ist 1912 von dem bedeutenden Botaniker Georg Albrecht Klebs (Abbildung 5) beschrieben worden [6]. Derzeit werden 13 Arten aus dem Süßwasser unterschieden, wobei Zellgröße und -form sowie Länge des Stiels bestimmungsrelevante Merkmale sind [11]. Kritische, auf detailliertem Wissen beruhende Unterscheidungen von Arten stehen jedoch noch aus, und grundlegende Daten zu Morphologie, Entwicklung und Verbreitung fehlen. Einige Arten von *Stylodinium* sind auch aus dem deutschsprachigen Raum beschrieben. Darunter finden sich beispielsweise *Stylodinium bavariense* aus den ehemaligen Torfstichen von Seon in Bayern (Abbildung 1)



**ABB. 5** Pioniere der Forschung an *Stylodinium*: Georg Albrecht Klebs (1857–1918, links) und Willy Baumeister (1904–1981, rechts). Fotos: Porträt Klebs aus der Porträtsammlung und mit freundlicher Genehmigung der Universitätsbibliothek Basel: UB Basel, Portr DE Klebs G 1857, Porträt Baumeister: privates Bild aus dem Nachlass.

und *Stylodinium lindemannii* aus dem Kieshofer Moor (siehe Aufmacherbild) in Mecklenburg-Vorpommern [4]. In der aktuellen Fachliteratur werden diese beiden als gleichbedeutend mit einer aus Java stammenden Art angesehen, *Stylodinium globosum*. Ob das eine realistische Einschätzung ist, muss erst noch wissenschaftlich erarbeitet werden. Zwei Arten mit einer ähnlichen Gestalt einschließlich des Stiels sind aus marinen Habitaten des Pazifischen Ozeans beschrieben [5, 12]. Inwieweit sie mit den Süßwasserarten näher verwandt sind oder eigenständige evolutive Linien darstellen, bleibt derzeit ebenfalls im Verborgenen.

### Das Plattenmuster der Zellwand

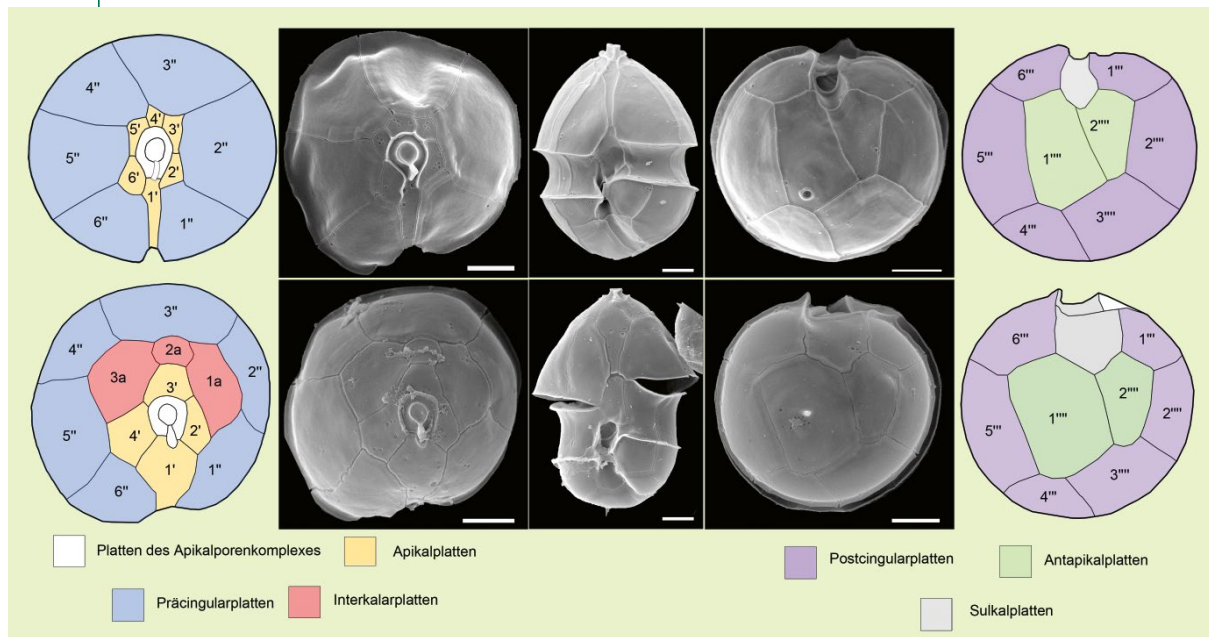
Viele – wenn auch nicht alle – Dinophyceen haben eine Zellwand aus Zellulose, die als ► Theka bezeichnet wird. Sie gliedert sich in einen vorderen (Epitheka) und einen hinteren Teil (Hypotheka), die durch eine Furche, das Cingulum, getrennt voneinander sind. Auf der unteren Bauchseite der Zelle findet sich eine weitere Rinne, der sogenannte Sulcus oder Sulcus, und an der Schnittstelle von Cingulum und Sulcus entspringen die beiden Geißeln. Dinophyceen sind heterokont, haben also unterschiedlich gestaltete Geißeln. Die Längsgeißel verläuft im Sulcus und verleiht der Zelle Schub, während die Quergeißel durch das Cingulum arretiert ist und der Lokomotion in der Wassersäule dient (ein Kollege hat eine Parallele zu ‚Fahrpedal‘ und ‚Lenkrad‘ gezogen). Anders als bei den Zellen der Landpflanzen besteht die Zellwand der Dinophyceen nicht aus einem Stück, sondern fragmentiert in einzelne

Teile oder Platten. Außerdem befindet sie sich innerhalb der Plasmamembran [13] und ist kein extrazelluläres Gebilde.

Es werden je nach Lage mehrere Serien von Thekalplatten unterschieden (Abbildung 6): Die Apikal- und Antapikalplatten finden sich an den Polen der Zelle, während die Prä- und Postcingularplatten an das Cingulum grenzen. Zwischen diesen Serien liegende Platten werden als Interkalarplatten bezeichnet. Die Gesamtheit der Platten ergibt ein art- und gruppenspezifisches Muster, das analog zur Organisation einer Blüte in einer Formel dargestellt werden kann. Die Beschaffenheit des Thekalplattenmusters erlaubt auch evolutionäre Interpretationen: Durch den DNA-Sequenzvergleich konnte plausibel belegt werden, dass bepanzerte Dinophyceen ursprünglich sechs Postcingularplatten hatten (heute noch bei Vertretern beispielsweise der Teilgruppen Gonyaulacales und †Suessiales zu finden), wovon sich die fünf Postcingularplatten der Peridinales durch das Verschmelzen zweier solcher Platten ableiten [14] (Abbildung 7).

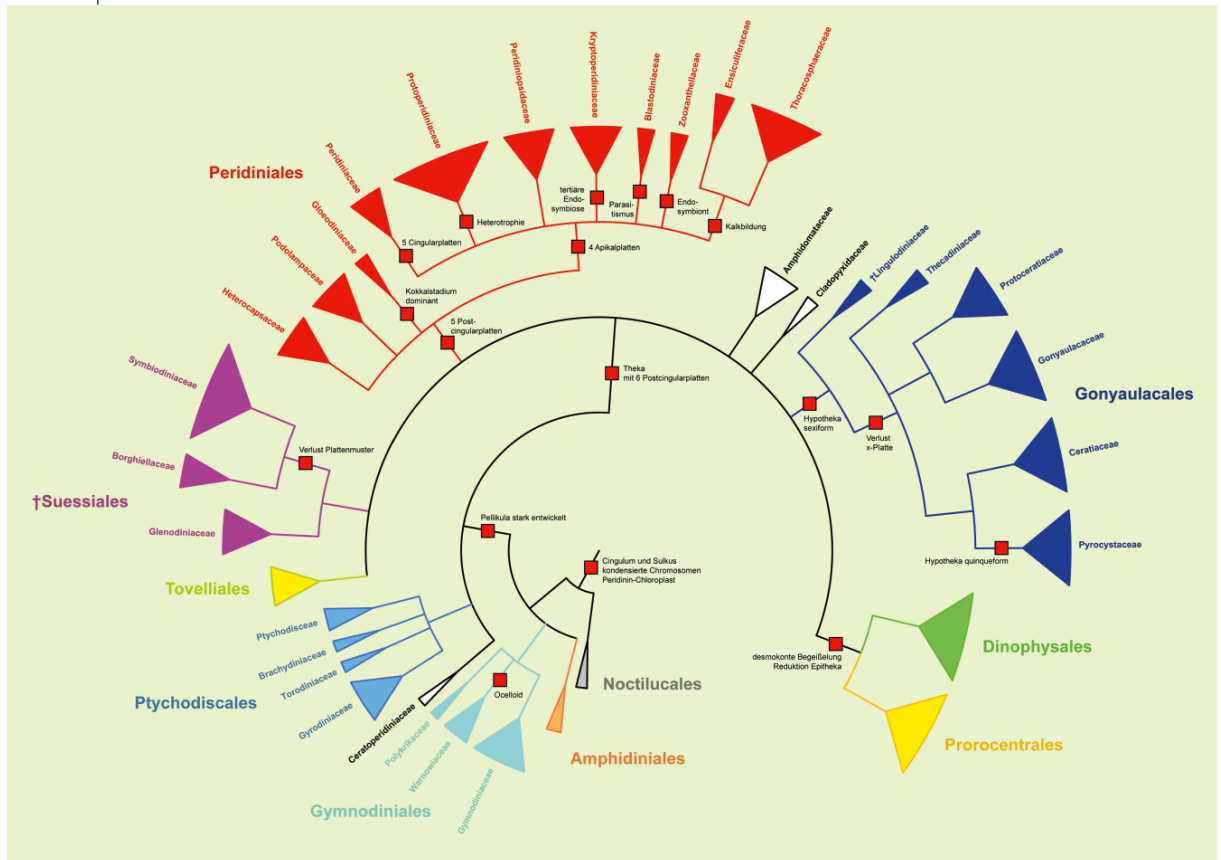
Das Thekalplattenmuster von *Stylodinium* ist noch nicht verlässlich gezeigt worden. Einzig der Volksschullehrer Willy Baumeister (Abbildung 5) hat bei zwei von ihm beschriebenen Arten das Vorhandensein dieser Platten erwähnt, obwohl es ihm unmöglich war, ein genaues Muster zu identifizieren [4, 15]. Auffällig bei seinen Zeichnungen (Abbildung 8) ist eine imposante Platte der Epitheka, die auch beim marinen *Halostylodinium* gefunden und dort als distale Präcingularplatte interpretiert wurde [5]. Die ungewöhnliche Größe dieser Epithekalplatte mag eine Ge-

ABB. 6 | THEKALPLATTENMUSTER BEI DINOPHYCEEN



Gezeigt sind die Muster der beiden Amphidomataceen *Amphidoma* (obere Reihe) und *Azadinium* (untere Reihe). Die Serien der Apikal-, Interkalar-, Präcingular-, Postcingular- und Antapikalplatten in apikaler (links) und antapikaler Ansicht (rechts) sind unterschiedlich eingefärbt. Der Maßstabsbalken in den rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen (Mitte) entspricht 2 µm.

ABB. 7 | PHYLOGENETISCHE SKIZZE DER DINOPHYCEEN



Der hypothetische Stammbaum ist auf der Grundlage neuerer molekular-phylogenetischer Studien [14, 27-30] entwickelt worden. Mögliche abgeleitete Merkmale (Apomorphien) sind indiziert. Isolierte und artenarme Linien ohne klare Verwandtschaftsverhältnisse wie *Akashiwo* oder *Vulcanodinium* sind nicht berücksichtigt. Die Breite der Kladen geben den mutmaßlichen Artenreichtum an, ohne dabei einen Anspruch auf Proportionalität zu erheben. Für einige Gruppen wie Gymnodiniaceae oder Symbiodiniaceae können derzeit nicht einmal annäherungsweise verlässliche Artenzahlen geschätzt werden wegen Phänomenen wie kryptischer Artenbildung, mikroskopischer Merkmalsarmut oder hoher Homoplasiegrade. Auch die phylogenetische Stellung vieler spezialisierter Lebensformen wie Endosymbionten, Picoplankton und Parasiten liegen häufig noch im Dunkeln. Ein Kreuz vor einem Taxonnamen bedeutet, dass der Typus des Taxons ein Fossil ist.

meinsamkeit zwischen Ozean- und Süßwasserformen bester Dinophyceen sein, die auf einen gemeinsamen Ursprung hinweist, doch besteht nicht nur bei dieser möglichen Homologisierung weiterer Forschungsbedarf.

### Entwicklungsgänge

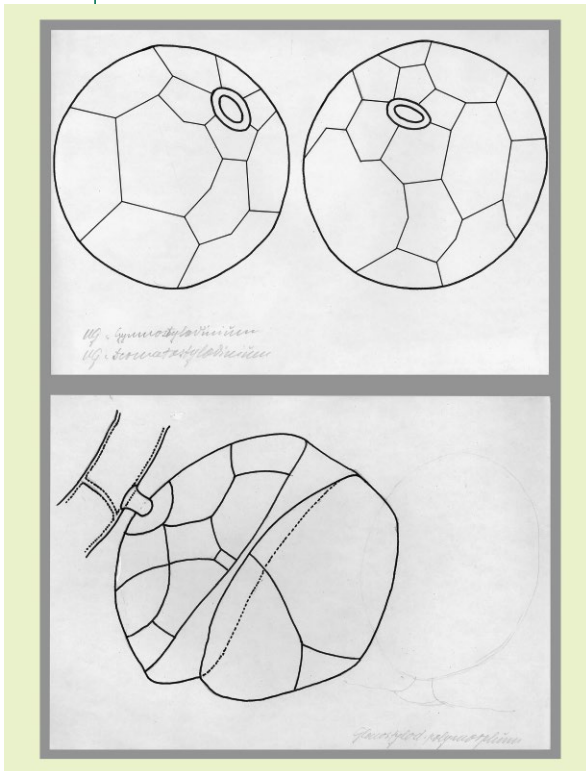
Die Entwicklungsgänge von Dinophyceen sind komplex; es steht aber häufig eine frei im Wasser umherschweifende Form mit einem unbeweglichen Stadium im Wechsel [16-18]. Dieser Wechsel kann jahreszeitlich bedingt sein: Dann vermehrt sich die bewegliche Form des Planktons vegetativ und bildet im Herbst ein unbewegliches, im Sediment abgelegtes Stadium. Dieses dient der Überdauerung ungünstiger Umweltverhältnisse, wie sie in den Wintermonaten in Mittel- und Nordeuropa vorliegen. Der Umstand, dass Zellen der gleichen Art in unterschiedlichen Habitaten anzutreffen sind und unterschiedliche Gestalt haben, erschwert die Erfassung der Biodiversität dieser mikroskopisch kleinen Organismen. Mehrere Dinophyceen sind daher als un-

terschiedliche Arten beschrieben worden, und den gültigen wissenschaftlichen Namen einer Art zu identifizieren ist mitunter ein mühsames Unterfangen. Es kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass die bewegliche Form von *Stylodinium* bereits unter anderem Namen geführt wird, da die Verbindung zum unbeweglichen Stadium noch nicht erkannt wurde.

Eine ebenfalls noch nicht restlos beantwortete Frage betrifft die Komplexität der Entwicklungsstadien von *Stylodinium*. Die bewegliche und unbewegliche Form tragen gleichermaßen Chromatophoren und gehen auch in dem zeitweise aufsitzenden Stadium wohl einer phototrophen Ernährungsweise nach. Eine Autorengruppe um Lois Ann Pfister (1936-1992) hat in mehreren Arbeiten auf der Grundlage von Feldbeobachtungen gemutmaßt, ob *Stylodinium* darüber hinaus auch amöboide und parasitische Entwicklungsstadien hervorbringt [19-20]. In einer späteren Arbeit bedauern die Autoren allerdings selber, dass die Beobachtungen nicht an kultiviertem Material



**ABB. 8 | ORIGINALE GRAFIKEN AUS DEM BAU-  
MEISTER-NACHLASS**



Gezeigt sind *Stylocladion tarrum* (oben) und *Stylocladion polymorphum* (unten). Eine der Epithekalplatten ist ungewöhnlich groß, wie es auch in ähnlicher Weise beim ozeanischen Pendant *Halostylocladion arenarium* beobachtet wurde [5].

vorgenommen werden konnten [21] – letztlich sind die aufgeworfenen Fragen nur durch sehr aufwändige Experimente zu beantworten.

Das Arbeiten an monoklonalen Algenstämmen erlaubt gegebenenfalls die Untersuchung der oben beschriebenen Entwicklungsgänge, aber auch der intraspezifischen Variabilität. Dazu werden Einzelzellen aus Umweltproben isoliert, was ein erhebliches Maß manuellen Geschicks benötigt. In einem geeigneten Nährmedium beginnen dann zumindest einige Zellen sich zu teilen und nach einer Weile einen stabilen Algenstamm aufzubauen, der dann bei regelmäßiger Verdünnung in frischem Nährmedium längere Zeit zur Verfügung steht. Anhand solcher Algenstämme konnten wir phäno- und genotypisch beispielsweise eine Vielzahl an Arten der Amphidomataceen charakterisieren und damit zeigen, dass die Produktion des Phycotoxins Azaspirosäure nur auf wenige Vertreter dieser Dinophyceen-Gruppe beschränkt ist, die zudem keine evolutionäre Einheit bilden (Abbildung 9).

### Bestimmbarkeit von Mikroorganismen

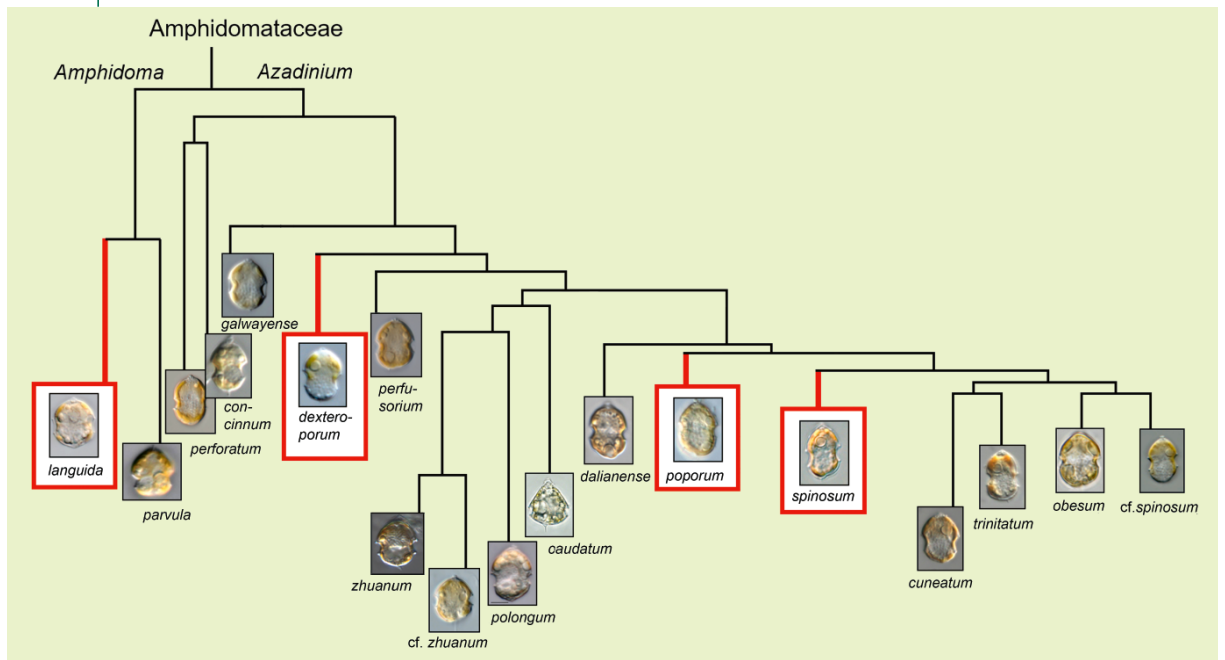
Einzelner stellen mutmaßlich mehr als drei Viertel aller diesen Planeten bevölkernden Arten und erzeugen mindestens die Hälfte des atmosphärischen Sauerstoffs. Auf-

grund der Fülle ihrer teilweise einmaligen Stoffwechselprozesse haben sie trotz der geringen Größe enormen Einfluss auf die globalen Kreisläufe vieler chemischer Elemente sowie auf die Gesundheit von Pflanzen, Tieren und Menschen. Wegen des großen Indikatorpotenzials einiger Mikroalgen findet ihr Vorkommen aber auch Anwendung wie beispielsweise bei der Analyse der Wassergüte (aufgrund der ökologischen Präferenz ist *Stylocladion* neben Zieralgen ein Indikator für intakte, aber besonders saure Gewässer). Allerdings ist die mikrobielle Vielfalt durch übermäßige Nutzung der Habitate und massive Umweltzerstörung bedroht wie noch nie in der Erdgeschichte. Außerdem werden die Auswirkungen des Klimawandels immer deutlicher, doch sind die zu befürchtenden Folgen für die Lebewesen immer noch unzureichend bekannt. Mikroalgen eignen sich besonders für solche Untersuchungen, da sie empfindlicher, schneller und unmittelbarer auf Veränderungen reagieren, als es vielzellige und komplexer gebaute Makroorganismen wie Tiere oder Pflanzen vermögen. Gemessen an ihrer ökologischen Bedeutung ist das vorhandene Wissen über die spezifischen Eigenschaften von Einzellern aber äußerst spärlich.

Eine Gefährdungsbeurteilung im Rahmen des Naturschutzes, die in den kommenden Jahren erstmals auch für Dinophyceen durchgeführt werden soll, oder auch eine effiziente Einschätzung der Wasserqualität beruhen notwendigerweise auf der Verlässlichkeit bei der Identifizierung von Arten in Plankton und Benthos. In der Vergangenheit wurden für die Bestimmung von Arten des Mikrokosmos in erster Linie morphologische Konzepte angewandt (Abbildung 10). Seit der Gewinnung molekularer Daten (DNA-Sequenzen) hat sich aber gezeigt, dass rein morphologische Ansätze auch irreführend sein und zu Fehlbestimmungen führen können. Erst wenn morphologische und molekulare Informationen kombiniert werden, ist eine zweifelsfreie Bestimmung von Arten gewährleistet, und erst dann sind robuste Aussagen über das zeitliche und räumliche Vorkommen von Arten und damit alle weiterführenden Forschungsfragen möglich [22–23]. In einigen Fällen gibt es sicher auch Arten, die anhand ihrer Gestalt eindeutig bestimmt werden können, doch selbst dann sind DNA-Sequenzinformationen hilfreich, um beispielsweise kryptische (morphologisch also nicht erkennbare) Artenbildung auszuschließen oder auch den Bestimmungsprozess zu objektivieren und effizienter zu gestalten.

Die notwendigen Labortechniken (► DNA-Metabarcoding) sind inzwischen ausgereift, doch es fehlen ehrgeizige Studien und Initiativen, die morphologische und molekulare Daten für den Mikrokosmos ambitioniert auch zusammenführen und auf entsprechenden Plattformen im Internet pflegen. In einzelnen Fällen ist es zwar schon möglich, aus dem Vorhandensein einer DNA-Sequenz in einer Gewässerprobe (auch ohne Mikroskopie) auf das Vorkommen einer entsprechenden Art zu schließen. In den meisten Fällen kann aber eine solche Zuordnung noch nicht oder – wenn eine Umweltsequenz ähnlich, aber

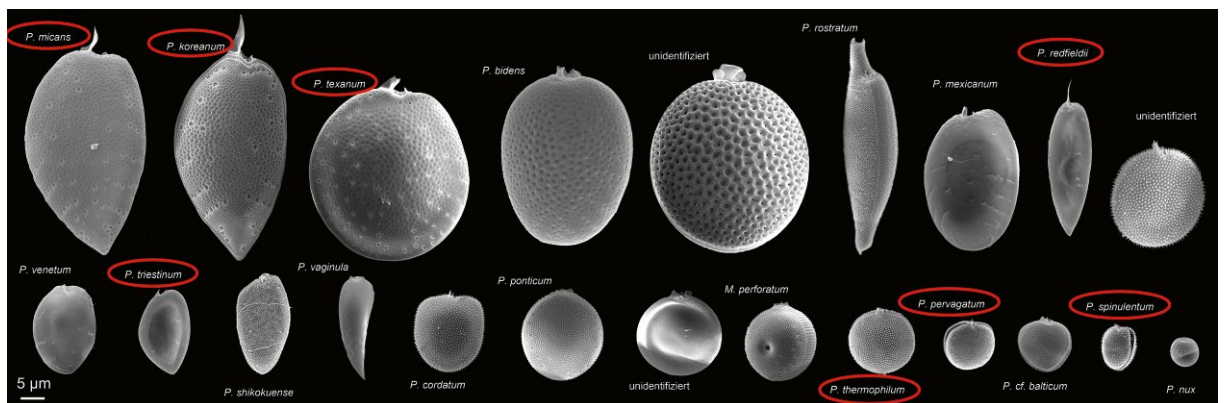
**ABB. 9 | DIVERSITÄT DER AMPHIDOMATACEAE IM PHYLOGENETISCHEN ZUSAMMENHANG**



Die zugrundeliegenden Arbeiten sind an monoklonalen Algenstämmen vorgenommen worden, die Untersuchungen zur intraspezifischen Variabilität und zur phylogenetischen Rekonstruktion erlauben. Diejenigen Arten, die das Phyco-toxin Azaspirosäure bilden, sind rot hervorgehoben und haben überraschenderweise keinen gemeinsamen Ursprung.

nicht identisch ist – nur ungefähr vorgenommen werden. Der Grund dafür liegt im Fehlen kuratierter Referenzdatensätze, in denen eine bestimmte DNA-Sequenz mit einer distinkten Morphologie und also biologischen Art verknüpft wird [22–23]. Es ist noch ein langer Weg, bis Mikroalgen mit dieser Methode ebenso verlässlich bestimmt werden können, wie es heute schon bei Fischen, Insekten oder mitteleuropäischen Blütenpflanzen möglich ist. Die Forschungslücke zeigt sich auch hier wieder bei *Stylodinium*; bislang kennt man keinerlei DNA-Sequenzen von diesen besonderen Süßwasser-algen.

Wichtigstes Ziel für die DNA-basierende Artbestimmung muss in naher Zukunft das Schließen der beschriebenen Wissenslücken sein. Die DNA-Sequenzierungen aus Umweltproben haben in den letzten Jahren eine unermessliche Vielfalt bislang unbekannter Arten und Gruppen zu Tage befördert, die wissenschaftlich schlicht nicht erfasst sind (eine so genannte ‚dark diversity‘). Jüngst haben wir beispielsweise eine neue Art aus Reut (Bayern) entdeckt, die sich in einer Langzeitstudie in den Teichen des Botanischen Garten Münchens als die zweithäufigste Dinophyceen-Art überhaupt erwies [24]. Die wertvollsten



**ABB. 10 Diversität von *Procoentrum*.** Die Arten sind untereinander sehr ähnlich und die sie unterscheidenden Merkmale häufig nur durch aufwändige Diagnosetechniken zu erkennen. Gerade bei solchen Artengruppen sind DNA-Sequenzinformationen – vorzüglich aus Typusmaterial generiert [25] – von großer Bedeutung. Lediglich von den rot umrandeten Arten liegen Kombinationsdaten aus DNA-Sequenzen und Morphologie vor, bei den anderen Arten besteht immer noch Forschungsbedarf.



**ABB. 11** Epitypisierung ausgewählter Dinophyceen. Bei den historischen Abbildungen handelt es sich um ▶ Lektotypen und anderes Originales Material. Die mikroskopischen Aufnahmen wurden von monoklonalen Algenstämmen angefertigt, die taxonomisch zur Herstellung von Epitypen verwendet wurden.

DNA-Sequenzen sind diejenigen, die vom im Rahmen der Erstbeschreibung einer Art spezifizierten Typusmaterial stammen [25]. Eine von Typusmaterial abgeleitete Sequenz ist per Definition bestimmbar, selbst wenn sich taxonomische Ansichten im Laufe der Zeit ändern sollten, wie es gerade bei Einzellern häufig der Fall ist. Solche Daten sind allerdings derzeit noch denkbar dürrig: Von den etwa 350 Süßwasserarten von Dinophyceen [11] gibt es von 21 Arten Sequenzen, gewonnen aus Typusmaterial oder dessen Äquivalenten.

Vielen, vor allem früh beschriebenen Mikroalgen ist kein physisches Typusmaterial zugeordnet; stattdessen

basieren ihre Namen auf Zeichnungen oder Abbildungen ohne DNA. Für solche, dann nur unsicher bestimmbare Arten gibt es das Epitypus-Werkzeug des Internationalen Codes der Nomenklatur für Algen, Pilze und Pflanzen (ICN): Es besteht darin, zeitgemäßes Material so nah wie möglich an der Typuslokalität zu sammeln und die Absicht des Erstbeschreibers nachzuvollziehen, wie sie aus der Erstbeschreibung, den Präparaten oder den Originalabbildungen hervorgeht [26–27] (Abbildung 11). Der entscheidende Unterschied zu den historischen Typen besteht dann darin, dass Epitypen mit lebendem Material (wie einem Algenstamm) verknüpft sind, was DNA-Sequenzie-

## GLOSSAR

**Apikalpore(nkomplex):** Am Kopfende der Zelle haben viele thekate Dinophyceen einen Komplex aus mehreren sehr kleinen Thekalplatten und einer kleinen Pore bislang unbekannter Funktion.

**DNA-Metabarcoding:** Hochdurchsatzverfahren, bei dem aus einer Umweltprobe die DNA aller darin vorkommenden Organismen isoliert wird. Ein kurzer Genomabschnitt wird sequenziert und mit einer Referenzdatenbank bekannter Sequenzen verglichen, was im Prinzip eine sehr effektive und verlässliche taxonomische Bestimmung der Organismen ermöglicht.

**Epityp:** Interpretativer Beleg, der die taxonomische Identität eines zweifelhaften historischen Belegs klärt.

**Epökrie:** Lebensweise auf der Oberfläche eines anderen Organismus.

**Heterotrophie:** Ernährungsweise, bei der organisches Material aufgenommen wird.

**Homoplasie:** Ähnliche Merkmale, die nicht auf Erbhomologie begründet und unabhängig voneinander entstanden sind.

**incertae sedis:** Standardbegriff für ein Taxon unsicherer systematischer Stellung

**Kleptochloroplast:** Chloroplasten, die von Organismen aufgenommen werden und vorübergehend photosynthetisch genutzt (Mixotrophie), später aber verdaut werden. Sie werden also im Gegensatz zu normalen Plastiden nicht an die Nachkommen weitergegeben.

**Lektotyp:** Vom Originalen Material ausgewählter Beleg als nomenklatorisches Typusexemplar.

**Mixotrophie:** Mischform, bei der sich ein Organismus gleichzeitig oder phasenweise phototroph und/oder heterotroph ernährt.

**Phototrophie:** Ernährungsweise, bei der aus Wasser und Kohlenstoffdioxid mit Hilfe von Licht (gr.  $\phi\acute{\omega}\varsigma$   $\phi\acute{\omega}\varsigma$ , Licht) höhermolekulare und energiereiche Stoffe synthetisiert werden.

**sekundäre Endosymbiose** (gr.  $\epsilon\nu\delta\omicron\nu$   $\epsilon\nu\delta\omicron\nu$ , innen; gr.  $\sigma\upsilon\nu$   $\sigma\upsilon\nu$ , zusammen; gr.  $\beta\acute{\iota}\omicron\varsigma$   $\beta\acute{\iota}\omicron\varsigma$ , Leben): Chloroplasten sind Organellen, die als einst frei lebende Organismen von einer Wirtszelle aufgenommen und heutzutage in einem stabilen System in einer solchen Zelle weitervererbt werden. Primär wurde ein Cyanobakterium als Endosymbiont von der letzten gemeinsamen Stammart von Grün- und Rotalgen aufgenommen. Grün- und Rotalgen wurden später ihrerseits als sogenannte sekundäre Endosymbionten von anderen Wirtszellen aufgenommen und werden dauerhaft weitervererbt.

**tertiäre Endosymbiose:** Aufnahme eines sekundären Endosymbionten in eine Wirtszelle und nachfolgende, dauerhafte Weitervererbung. Derartige Vergesellschaftungen sind bislang nur von Dinophyceen bekannt, innerhalb derer sie sich aber wohl mehrfach unabhängig vollzogen haben (möglicherweise wegen einer weit verbreiteten, regelrecht prädatorischen Lebensweise vieler Arten).

**Theka:** Zellwand der Dinophyceen, die in eine Anzahl von Zelluloseplatten fragmentiert. Die Thekalplatten bilden ein oft art- oder gruppenspezifisches Muster.

**thekate Dinophyceen:** besitzen eine Theka.

rungen, Ultrastrukturuntersuchungen, aber auch weiterführende und angewandte Forschung wie ökologische Experimente ermöglicht. Ziel aller hier vorgestellten Ansätze ist integratives Wissen über die Organismen auch im Mikrokosmos zu generieren, das für eine kompetente Revision der Wasserrahmenrichtlinie oder effektive Strategien beim Naturschutz nötig ist.

### Zusammenfassung

Die Vielfalt von Einzellern ist – gemessen an ihrer mutmaßlich immensen ökologischen Bedeutung – bislang unzureichend erfasst. Gleichzeitig ist das Überleben dieser Vielfalt durch Umweltzerstörung und Klimawandel bedroht wie nie

zuvor in der Erdgeschichte. Zahlreiche Arten werden ausgestorben, bevor sie wissenschaftlich überhaupt inventarisiert wurden, und die Folgen dieser Dezimierung können derzeit schwerlich abgeschätzt werden. Die eigenartige Aufsitzeralge *Stylodinium* steht stellvertretend für dieses Dilemma: Wichtige morphologische und molekulare Details sind gegenwärtig ebenso unbekannt wie die genauen Dienstleistungen im Netz der Ökosysteme. Die Bildung des ungewöhnlichen Stiels, mit dem sich der Panzergeißler – zumindest zeitweise – auf anderen Algen festheftet, ist seit seiner Entdeckung nur einmal wissenschaftlich dokumentiert worden. Es besteht dringender Forschungsbedarf für *Stylodinium*, und es bleibt zu hoffen, dass den Organismen des Mikrokosmos in Zukunft mehr Beachtung geschenkt wird als in der Vergangenheit.

### Summary

#### *Stylodinium* is algae of the year 2022: An ambassador against species extinction and for the need for research

Measured against their presumably immense ecological importance, the diversity of unicellular organisms has hardly been discovered up to now. At the same time, the survival of this diversity is threatened by environmental degradation and climate change as never before in the Earth's history. Numerous species may become extinct before they have even been scientifically inventoried, and the consequences of this decimation are difficult to assess at present. The peculiar epiphytic alga *Stylodinium* is a representative for this dilemma: Important morphological and molecular details are currently just as unknown as are its precise services in the web of ecosystems. The development of the unusual stalk, with which the dinophyte attaches itself – at least temporarily – to other algae, has only been scientifically documented once since its discovery. There is an urgent need for research on *Stylodinium*, and it is to be hoped that more attention will be paid to the organisms of the microcosm in the future than in the past.

### Schlagworte

Diversität, Entwicklung, Lebensweise, Phylogenie, Ökologie, Taxonomie

### Danksagung

Wir danken Heide Baumeister (München), Benedicta Erny (Basel), Hans Joosten (Greifswald), Mjung Gil Park (Gwangju, Südkorea) und Corinna Romeikat (München) für die Bereitstellung von Bildern sowie Andreas Fleischmann (München) für den Vergleich der Geißelfunktionen mit ‚Fahrpedal‘ und ‚Lenkrad‘. Wolf-Henning Kusber (Berlin) lieferte nützliche Vorschläge zur Verbesserung einer früheren Version des Texts.

### Literatur

- [1] S. C. Ducker, R. B. Knox (1984). Epiphytism at the cellular level with special reference to algal epiphytes. In: H. F. Linskens, J. Heslop-Harrison (Eds): *Encyclopedia of Plant Physiology*, 113–133. Springer, Berlin.

- [2] F. Rimet, A. Bouchez (2012). Life-forms, cell-sizes and ecological guilds of diatoms in European rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 406, 01.
- [3] R. Marcel et al. (2017). Modelling diatom life forms and ecological guilds for river biomonitoring. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 418, 01.
- [4] W. Baumeister (1943). Die Dinoflagellaten der Kreise Pfarrkirchen und Eggenfelden (Gau Bayreuth). 2. Das Sumpfgelände im Walde südlich Altersham. *Archiv für Protistenkunde* 96, 344–364.
- [5] T. Horiguchi et al. (2000). *Halostyrodinium arenarium*, gen. et sp. nov. (Dinophyceae), a coccoid sand-dwelling dinoflagellate from subtropical Japan. *Journal of Phycology* 36, 960–971.
- [6] G. A. Klebs (1912). Über Flagellaten- und Algen-ähnliche Peridineen. *Verhandlungen des Naturhistorisch-Medicinischen Vereins zu Heidelberg* 11, 369–451.
- [7] F. J. R. Taylor (1987). *The biology of dinoflagellates*. Blackwell, Oxford.
- [8] P. J. Hansen, U. Tillmann (2020): Mixotrophy in dinoflagellates: Prey selection, physiology and ecological importance. In: S. R. V. Durvasula (Ed.): *Dinoflagellates: Classification, evolution, physiology and ecological significance*. Nova Science Publishers, Hauppauge.
- [9] U. Tillmann et al. (2023). Spatial fragmentation in the distribution of diatom endosymbionts from the taxonomically clarified dinophyte *Kryptoperidinium triquetrum* (= *Kryptoperidinium foliaceum*, Peridinales). *Scientific Reports* 13, 8593.
- [10] U. Tillmann et al. (2014). AZA: The producing organisms. Biology and trophic transfer. In: L. M. Botana (Ed.): *Seafood and freshwater toxins. Pharmacology, physiology, and detection* (3rd edn), 773–798. CRC Press, Boca Raton.
- [11] Ø. Moestrup, A. J. Calado (2018). Dinophyceae. Springer, Berlin.
- [12] T. Horiguchi, J. Yoshizawa-Ebata (1998). Ultrastructure of *Stylodinium littorale* (Dinophyceae) with special reference to the stalk and apical stalk complex. *Phycological Research* 46, 205–212.
- [13] L. C. Morrill, A. R. Loeblich III (1983). Ultrastructure of the dinoflagellate amphiasma. *International Review of Cytology* 82, 151–180.
- [14] M. Gottschling et al. (2021). *Fensomea setacea*, gen. & sp. nov. (Cladopyxidaceae, Dinophyceae), is neither gonyaulacoid nor peridinioid as inferred from morphological and molecular data. *Scientific Reports* 11, 12824.
- [15] W. Baumeister (1957): Neue Dinococcalen aus dem niederbayerischen Hügelland zwischen Isar und Inn (I). *Archiv für Protistenkunde* 102, 21–43.
- [16] L. A. Pfister, D. M. Anderson (1987). Dinoflagellate reproduction – In: F. J. R. Taylor (Ed.): *The biology of dinoflagellates*, 611–648. Blackwell, Oxford.
- [17] I. Bravo, R. I. Figueroa (2014). Towards an ecological understanding of dinoflagellate cyst functions. *Microorganisms* 2, 11–32.
- [18] R. I. Figueroa et al. (2018). Life histories of microalgal species causing harmful blooms: Haploids, diploids and the relevance of benthic stages. *Harmful Algae* 73, 44–57.
- [19] L. A. Pfister, J. Popovský (1979). Parasitic, amoeboid dinoflagellates. *Nature* 279, 421–424.
- [20] J. Popovský, L. A. Pfister (1982). The life-histories of *Stylodinium sphaera* PASCHER and *Cystodinium inermis* (GEITLER) PASCHER (Dinophyceae), two freshwater facultative predator-autotrophs. *Archiv für Protistenkunde* 125, 115–127.
- [21] P. Timpano, L. A. Pfister (1986). Observations on “*Vampyrella penula-Stylodinium sphaera*” and the ultrastructure of the reproductive cyst. *American Journal of Botany* 73, 1341–1350.
- [22] M. Gottschling et al. (2020). Phylogenetic placement of environmental sequences using taxonomically reliable databases helps to rigorously assess dinophyte biodiversity in Bavarian lakes (Germany). *Freshwater Biology* 65, 193–208.
- [23] N. Salmaso et al. (2022). DNA sequence and taxonomic gap analyses to quantify the coverage of aquatic Cyanobacteria and eukaryotic microalgae in reference databases: Results of a survey in the Alpine region. *Science of the Total Environment* 834, 155175.
- [24] A. Müller et al. (2024). The second most abundant dinophyte in the ponds of a Botanical Garden is a species new to science. *Journal of Eukaryotic Microbiology* 71, e13015.
- [25] S. S. Renner et al. (in press). DNA sequences from type specimens and type strains – how to increase their number and improve their annotation in NCBI GenBank and related database. *Systematic Biology*.
- [26] J. Kretschmann et al. (2018): Still curling after all these years: *Glenodinium apiculatum* Ehrenb. (Peridinales, Dinophyceae) repeatedly found at its type locality in Berlin (Germany). *Systematics and Biodiversity* 16, 200–209.
- [27] U. Tillmann et al. (2021). Recommendations for epytification of dinophytes exemplified by *Lingulodinium polyedra* and molecular phylogenetics of the Gonyaulacales based on curated rRNA sequence data. *Harmful Algae* 104, 101956.
- [28] J. Janouškovec et al. (2017). Major transitions in dinoflagellate evolution unveiled by phylotranscriptomics. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA* 114, E171–E180.
- [29] D. C. Price, D. Bhattacharya (2017). Robust Dinoflagellata phylogeny inferred from public transcriptome databases. *Journal of Phycology* 53, 725–729.
- [30] M. Gottschling et al. (2017). Description of Peridiniopsidaceae, fam. nov. (Peridinales, Dinophyceae). *Phytotaxa* 299, 293–296.

### Verfasst von:



Marc Gottschling, Jahrgang 1971, ist Evolutionsbiologe und Taxonom an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Nach dem Studium der Biologie promovierte er 2003 über Blütenpflanzen am Institut für Systematische Botanik und Pflanzengeographie der FU Berlin. Nach Postdoc-Aufenthalten am Institut für Geologische Wissenschaften – Fachrichtung Paläontologie der FU Berlin, am Missouri Botanical Garden (St. Louis) und an der Klinik für Dermatologie der Charité – Universitätsmedizin Berlin ist er seit 2008 Akademischer Rat, außerplanmäßiger Professor und letztes Akademischer Direktor am Lehrstuhl Systematik, Biodiversität und Evolution der Pflanzen der Ludwig-Maximilians-Universität. Übergreifende Ziele seiner Arbeit sind die verlässliche Bestimmbarkeit von Arten und die Aufklärung der Evolutionsmechanismen, die zu ihrer Diversifizierung geführt haben.



Urban Tillmann, Jahrgang 1960, ist Wissenschaftler am Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven. Nach dem Studium der Biologie in Düsseldorf und Aachen promovierte er 1992 an der Universität Hamburg über Planktondynamik in norwegischen Fjorden. Nach Postdoc-Aufenthalten in Büsum (Uni Kiel), Wilhelmshaven (Senckenberg) und Bremerhaven (AWI) ist er seit 2005 als festangestellter Wissenschaftler am AWI in der Sektion „Ökologische Chemie“ tätig. Sein Forschungsschwerpunkt sind chemisch gesteuerte Interaktionen von marinen planktonischen Protisten, mit besonderem Fokus auf toxinproduzierenden Dinophyceen.

### Korrespondenz:

Prof. Dr. Marc Gottschling  
Ludwig-Maximilians-Universität München  
Fakultät für Biologie – Systematik, Biodiversität und Evolution der Pflanzen  
Menzinger Str. 67  
D-80638 München  
Email: gottschling@bio.lmu.de

# Anaerobier lösen das Rätsel Über den Ursprung des Lebens

WOLFGANG BUCKEL



**ABB. 1** Stanley L. Miller, ca. 1999 hinter seiner Apparatur.  
Foto: www.wikipedia.com, gemeinfrei.

*Seit der Antike fragen Menschen nach dem Ursprung des Lebens. Aber erst seit 100 Jahren haben sich Wissenschaftler damit theoretisch auseinandergesetzt. In den letzten 30 Jahren haben Mikrobiologen, Biochemiker, Geologen und Meeresbiologen experimentell überprüfbare Vorstellungen zur Entstehung des Lebens auf der Erde entwickelt.*

Für Aristoteles (384–322 v. Chr.) war die Spontanzeugung oder Urzeugung – *génesis autómotos* – neben der sexuellen und vegetativen Fortpflanzung die dritte Art der Entstehung von Lebewesen. Erst in der Neuzeit wurde die Urzeugung durch Experimente von Francesco Redi (1626–1697) und Lazzaro Spallanzani (1729–1799), beide Professoren in Pisa, in Frage gestellt. Nochmal 100 Jahre später überzeugte Louis Pasteur (1822–1895) durch ähnliche Experimente mit moderneren Methoden die wissenschaftliche Gemeinschaft. Damit war die Theorie der Urzeugung endgültig gestorben.

Charles Darwin (1809–1882), der Begründer der modernen Evolutionstheorie (*On the origin of species by means of natural selection*, 1859 [1]) hat in seinem großartigen Werk nur einen Satz zum Ursprung des Lebens beigetragen: „Ich nehme an, daß wahrscheinlich alle organischen Wesen, die jemals auf dieser Erde gelebt, von irgendeiner Urform abstammen, welcher das Leben zuerst vom Schöpfer eingehaucht worden ist.“ Es ist aber zweifelhaft, ob Darwin dies selbst geschrieben hat. Es ist ein deutsches Zitat aus Ernst Häckels Schriften. Später hat Darwin in einem Brief erwähnt, dass das Leben „*perhaps in a warm little pond*“ entstanden sei. Vielleicht hat das Darwin mehr nebenbei unter Häckels Einfluss erwähnt. Ernst Haeckel (1834–1919) wird in Deutschland als Darwins „Bulldogge“ bezeichnet, da er in vielen Schriften Darwins Abstammungslehre verbreitet und bekanntgemacht hat.

Haeckel war auch sehr beeindruckt von den Erfolgen der in Deutschland aufblühenden organischen Chemie, insbesondere durch die Synthese des bisher nur aus biologischem Material erhältlichen Harnstoffs (1828), den Friedrich Wöhler (1800–1882) aus dem anorganischen Salz Ammoniumcyanat durch Isomerisierung erstmals gewonnen hat. In der darauffolgenden 44-jährigen Zusammenarbeit mit Justus von Liebig (1803–1873) legten beide die Grundsteine der chemischen Ausbildung an Deutschlands Universitäten, die Studenten aus der ganzen Welt anlockte. So schrieb Haeckel in seiner „*Natürlichen Schöpfungsgeschichte*“ (1874) [2]: „Da wir jetzt imstande sind, in chemischen Laboratorien ähnlich zusammengesetzte Kohlenstoffverbindungen künstlich herzustellen, so liegt durchaus kein Grund für die Annahme vor, daß nicht auch in der freien Natur sich Verhältnisse bilden, unter denen ähnliche Verbindungen entstehen könnten. Erst seitdem

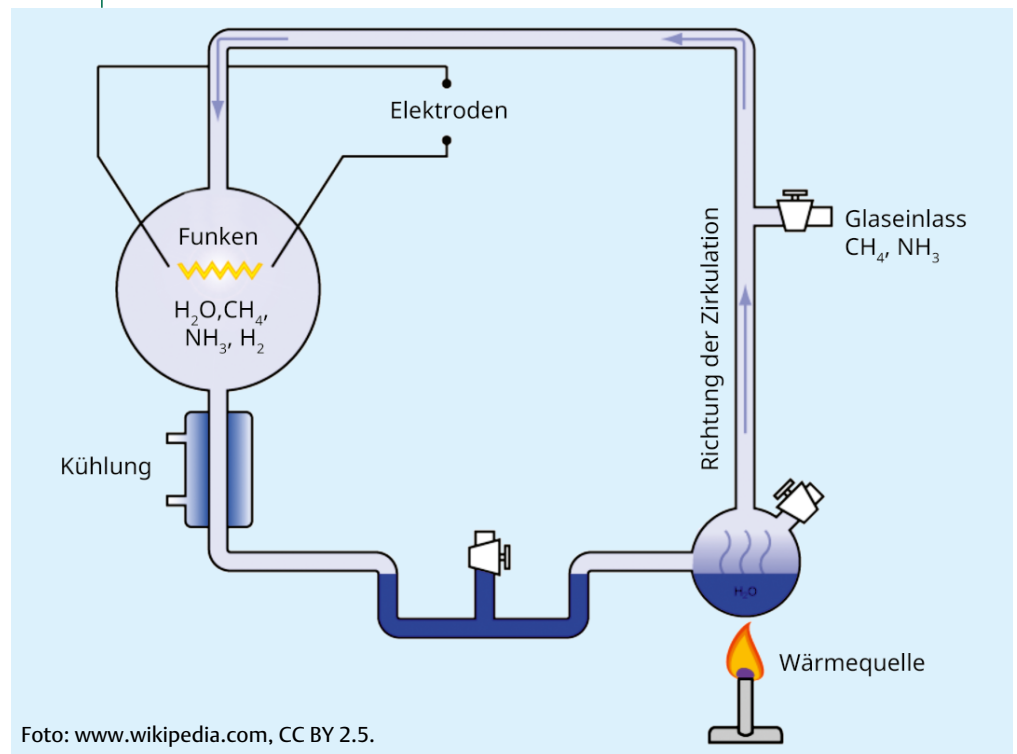
wir mit den höchst wichtigsten Moneren (Bakterien) bekannt geworden sind, erst seitdem wir in ihnen Organismen kennengelernt haben, welche gar nicht aus Organen zusammengesetzt sind, welche bloß aus einer einzigen Verbindung bestehen und dennoch wachsen, sich ernähren und fortpflanzen, ist jene Hauptschwierigkeit gelöst, und die Hypothese der Urzeugung hat dadurch denjenigen Grad von Wahrscheinlichkeit gewonnen, welcher sie berechtigt, die Lücke zwischen Kants Kosmogonie und Lamarcks Deszendenztheorie auszufüllen.“

### Heterotrophe Entstehung des Lebens?

Sicher unter dem Einfluss von Häckels Spekulationen haben 50 Jahre nach deren Veröffentlichung zwei sehr unterschiedliche Wissenschaftler Theorien zur Entstehung des Lebens entwickelt: Alexander Iwanowitsch Oparin (1894–1980), ein russischer Chemiker, und John Burdon Sanderson Haldane, bekannt als J. B. S. Haldane (1892–1964), ein britischer Universalgelehrter (engl. *polymath*). Beide haben eine Uratmosphäre angenommen, aus der sich durch Zufuhr von Energie organische Moleküle entwickeln sollten. Oparin dachte (1924), dass aus Eisenkarbid (als Kohlenstoffquelle) mit Wasserdampf, Ammoniak und Wasserstoff unter elektrischen Entladungen erst kleine organische Moleküle entstehen würden, die spontan lipidartige Bläschen (Coacervate) bilden, die zu einem zellähnlichen Zustand evolvieren. Später (1936) ersetzte er dann das Eisenkarbid durch Methan. Dagegen bestand Haldanes Uratmosphäre (1929) aus Wasser, CO<sub>2</sub> und Ammoniak, aus der sich mit der intensiven ultravioletten Strahlung der Sonne eine Vielzahl von organischen Substanzen bilden sollte: Zucker und besonders Aminosäuren, die Bestandteile der Proteine. Alle diese in Wasser gelösten Produkte sollten so konzentriert worden sein, bis sie die Konsistenz einer dicken Suppe erreicht haben. Aus dieser „Suppe“ sollten sich die ersten Organismen entwickelt haben. Heute spricht man von Ursuppe oder im Englischen von *primordial soup*.

Um diese Spekulationen durch ein Experiment zu erhärten, beauftragte der Nobelpreisträger Harold Urey seinen Doktoranden Stanley L. Miller (1930–2007), eine geschlossene Apparatur zu bauen, in der man eine hypothetische Uratmosphäre elektrischen Entladungen aussetzen konnte (Abbildungen 1 und 2). Er füllte in die Apparatur Wasser, entfernte jeglichen Luftsauerstoff und gab die Gase CO<sub>2</sub>, Wasserstoff und Ammoniak dazu. Dann

ABB. 2 | STANLEY MILLERS APPARATUR



erhitzte er das Wasser zum Kochen und ließ Funken zwischen den Elektroden sprühen. Nach dieser Behandlung kondensierte er den Wasserdampf und führte das Wasser und die darin enthaltenen Produkte zum Kochgefäß zurück, worauf wieder Wasserdampf mit CO<sub>2</sub> und Ammoniak unter Blitzen reagierte. Nach einer Woche kontinuierlichen Betriebs analysierte Miller die erhaltene Lösung und fand darin neben viel Teer tatsächlich mehrere Aminosäuren, die in Proteinen vorkommen. Seine Ergebnisse veröffentlichte Miller 1953 in der Fachzeitschrift *Science* [3]. Da es ungewöhnlich war und auch heute ist, dass Doktoranden ihre Ergebnisse ohne Doktorvater oder -mutter publizieren, wird dieses Experiment häufig als Miller-Urey-Experiment bezeichnet. Miller wurde weltberühmt, weil viele meinten, dass damit der Ursprung des Lebens gelöst worden sei.

#### IN KÜRZE

- Louis Pasteur **widerlegte 1860 die Urzeugung**, an die man seit der Antike glaubte.
- Stanley L. Miller zeigte 1953, dass sich Biomoleküle unter einer „Uratmosphäre“ zwar bilden, aber **kein Leben hervorbringen**.
- Der Stoffwechsel **der Essigsäure-bildenden anaeroben Bakterien** kann den Ursprung des Lebens erklären.
- Hydrothermale Unterwasserschloten (40–100 °C) wie die heutigen am Atlantischen Rücken werden als **Geburtsorte des Lebens** angenommen.

## ERNÄHRUNGSWEISEN VON LEBEWESEN

Heterotrophe Lebewesen sind auf organisches Material als Kohlenstoffquelle angewiesen (Tiere, Pilze und die meisten Bakterien).

Autotrophe Lebewesen stellen die benötigten organischen Stoffe aus dem anorganischen CO<sub>2</sub> selbst her (Pflanzen und einige Bakterien).

Zusätzlich kann die Energiequelle durch die Vorsilbe „chemo-“ oder „photo-“ angegeben werden. Beispielsweise sind Pflanzen photoautotroph und Tiere chemo-heterotroph.

In meinem Chemiestudium (1959–1965) hatte ich von Millers Entdeckung gehört und war deshalb sehr erstaunt, dass ich 20 Jahre später einen Brief von so einem berühmten Mann erhielt. Miller hatte meine Adresse von dem an der *University of California* in Berkeley forschenden Mikrobiologen und Biochemiker Horace Albert Barker erhalten, in dessen Labor ich in den Jahren 1970/71 als Postdoc gearbeitet hatte. Miller bat mich in seinem Brief, mit einem von mir isolierten Enzym Messungen zur Berechnung von Bildungsenergien von kleinen biochemischen Molekülen durchzuführen. Ich habe das gern getan und die Ergebnisse zusammen mit Miller 1987 im *European Journal of Biochemistry* publiziert [4]. Ende der 1990er Jahre schrieb mir Miller, dass er nach Deutschland käme und mich in Marburg besuchen könnte. Ich habe ihn sofort zu einem Vortrag in unserem Biochemischen Kolloquium eingeladen. Als ich ihn am Bahnhof abholte, erzählte er mir: *“On the railway from Frankfurt airport to Marburg I made a stopover in Geissen (Gießen) and visited the Liebig Museum”* [5]. Wir waren alle sehr auf Millers Vortrag gespannt, aber zu unserer Enttäuschung berichtete er nur über die Ergebnisse seiner Doktorarbeit vor über 40 Jahren. Die Frage von einem Marburger Kollegen, ob sich sein Gebiet nach seiner Doktorarbeit weiterentwickelt habe, musste er verneinen. Damit hat Miller allen Zuhörern gezeigt, dass zwar unter präbiotischen Bedingungen biologische Moleküle entstehen können, wie diese sich aber zu Proteinen und Nukleinsäuren zusammenfügen und daraus Leben entsteht, konnte er uns nicht sagen. Somit ist die Forschung zur Entstehung des Lebens keinen Schritt weitergekommen, als Darwins Vorstellung von einem nährstoffreichen *„warm little pond“*. Millers epochalen Arbeit (1953) folgten nur wenige Wissenschaftler mit eigenen Publikationen auf diesem Gebiet. Im gleichen Jahr – das dadurch zum Geburtsjahr der heutigen Molekularbiologie und Gentechnik mit sicher hunderttausenden Folgepublikationen wurde [6] – veröffentlichten James D. Watson (\*1928) und Francis H. Crick (1916–2004) die Struktur der Desoxyribonukleinsäure (DNA).

### Panspermie – Leben aus dem All?

Den Prozess, der auf die spontane Bildung von Aminosäuren folgen sollte, würde man als chemoheterotrophen Ursprung des Lebens bezeichnen. Heutzutage sind aber viele Wissenschaftler überzeugt, dass Leben nur aus anorganischen Ver-

bindungen wie CO<sub>2</sub> und Wasserstoff, also chemoautotroph, entstanden sei. Demzufolge gibt es zwei sehr unterschiedliche Theorien zur Entstehung des Lebens: heterotroph und autotroph (siehe hierzu auch Kasten „Ernährungsweisen von Lebewesen“). Bevor ich darauf näher eingehe, möchte ich kurz die Frage behandeln, ob das Leben überhaupt auf der Erde und nicht woanders entstanden sei. Um die Suche nach der Entstehung des Lebens auf der Erde zu umgehen, wurde im 19. Jahrhundert – bald nachdem Louis Pasteur der Urzeugung den Todesstoß versetzt hatte – die Panspermie-Hypothese entwickelt (von altgriechisch pan, überall und sperma, Samen): Das Leben sei auf einem oder vielen Orten im Weltall entstanden und von dort vor etwa vier Milliarden Jahren auf die Erde gelangt, möglicherweise durch Meteoriten. Einer der prominentesten Vertreter dieser Hypothese war Sir Francis Crick. Zwar enthält einer der bekanntesten und bestens untersuchten Meteoriten – der Murchison-Meteorit, der 1969 in Australien in der Nähe von Murchison, Victoria, niedergegangen war – einige der in Proteinen vorkommenden Aminosäuren, aber keine lebende Zelle. Enthielte der Meteorit Lebewesen, wäre die Entstehung des Lebens nur ins Weltall verschoben und die Frage bliebe ungelöst: heterotroph oder autotroph?

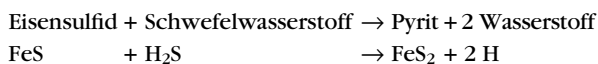
Die Panspermie-Hypothese ist immer noch aktuell: Am 14. April 2023 ist die Jupiter-Sonde *“Juice” (Jupiter icy moons explorer)* der *European Space Agency (ESA)* erfolgreich mit einer Ariane-Rakete Richtung Jupiter gestartet, den sie mit seinen Monden ab 2031 umkreisen soll. Ihre Mission ist es, nach Leben oder Lebensbedingungen unter den Eismänteln der Monde Europa, Ganymed und Kallisto zu suchen. Der 1 km dicke Eismantel Ganymeds besteht aus mehreren Schichten Eis und salzhaltigem Wasser, das durch das Salz und die Wärme vom Inneren des Mondes flüssig bleibt und Leben enthalten könnte. *“Juice”* soll 2035 auf Ganymed abstürzen und die Oberfläche untersuchen. Durch Verwerfungen und kaltem Vulkanismus (Kryovulkanismus) wird das Wasser auf die Oberfläche des Mondes Ganymed gespült und der chemischen Analyse zugänglich. Auch der Nachweis von Acetat (Essigsäure) kann auf Leben hindeuten (siehe weiter unten).

### Chemoautotropher Ursprung des Lebens?

Um aus der Sackgasse des heterotrophen Ursprungs herauszukommen, lag es nahe, den Stoffwechsel der vermutlich ältesten Organismen, der autotrophen anaeroben Bakterien als Vorbild zu nehmen. Der Chemiker und Patentanwalt Dr. Günter Wächtershäuser hat als erster einen solchen Stoffwechsel benutzt, um eine völlig neue Theorie zur Entstehung des Lebens zu entwickeln. Wächtershäuser hat in Marburg Chemie studiert und hat als Patentanwalt erst in den USA und dann in München sehr erfolgreich gearbeitet. In den 1980er Jahren begann er sich mit philosophischer Hilfe durch Karl Popper mit dem Ursprung des Lebens theoretisch zu beschäftigen. Wächtershäuser hielt faszinierende Vorträge, die mich und viele meiner Kollegen begeisterten [7].



Was benötigt man zur Bildung eines primitiven Stoffwechsels aus CO<sub>2</sub> und Wasserstoff (H<sub>2</sub>)? Wächtershäuser benutzte den reversen Zitronensäurezyklus des anaeroben grünen Schwefelbakteriums *Chlorobium limicola*, der bei jedem Umlauf 2 CO<sub>2</sub> zu aktivierter Essigsäure (Acetyl-CoA) reduziert. Weitere CO<sub>2</sub>-Addition (Carboxylierung) liefert Brenztraubensäure (Pyruvat), Zitronensäure (Citrat) und 2-Oxoglutarat. Aus Pyruvat, Oxalacetat und 2-Oxoglutarat entstehen mit Ammoniak leicht die häufigen Aminosäuren Alanin, Aspartat und Glutamat. Im ‚normalen‘ Zitronensäurezyklus der aeroben Organismen wird die aktivierte Essigsäure mit Sauerstoff unter Bildung von Energie in Form von ATP und Wärme zu 2 CO<sub>2</sub> und 2 H<sub>2</sub>O oxidiert. Als Energiequelle, die die Bildung dieser Intermediate antreibt, kommt Sonnenlicht wie bei *C. limicola* sicher nicht in Frage, da die Photosynthese komplexe Pigmente benötigt. Wächtershäuser hatte eine geniale Idee: die Bildung von Pyrit (FeS<sub>2</sub>, Katzensgold) aus Eisensulfid (FeS) und Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S), wobei Wasserstoff in *statu nascendi* (H) entsteht, der vermutlich leicht CO<sub>2</sub> reduziert.



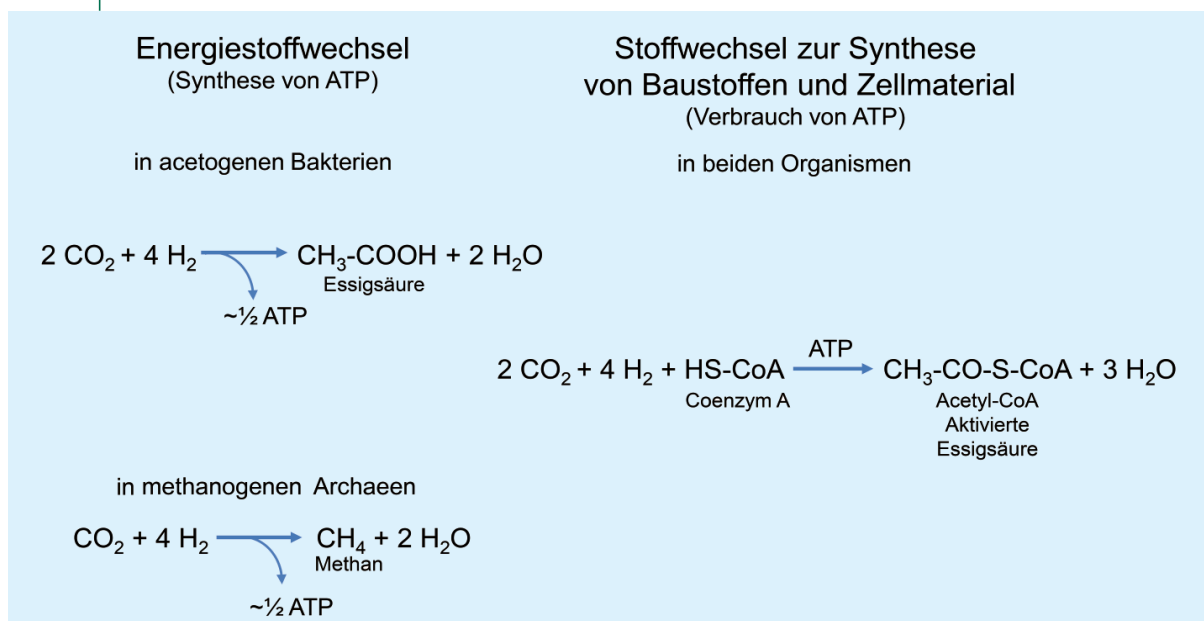
Der Begriff in *statu nascendi* (im Zustand der Geburt, des Entstehens) bedeutet, dass Wasserstoff (H) in der sehr reaktionsfähigen und energiereichen atomaren Form entsteht. Kurz danach bildet sich aus zwei H-Atomen der stabile gasförmige Wasserstoff (H<sub>2</sub>).

Der primitive Stoffwechsel muss zu einem verbesserten Stoffwechsel und letztendlich zu einem Organismus evolviert. Alle Intermediate des reversen Zitronensäure-

zyklus sind 2–3-fach negativ geladen und bleiben daher an der positiv geladenen Oberfläche des Pyrits hängen. Einfach negativ geladene, neutrale oder positiv geladene Moleküle verschwinden im Ozean und werden damit von einer Evolution ausgeschlossen. So wird der reverse Zitronensäurezyklus bevorzugt und weiter optimiert.

Durch seine Theorie und Vorträge hat sich Wächtershäuser als ernst zu nehmender Wissenschaftler etabliert und wurde von der Universität Regensburg zum Professor ernannt. So gelang es ihm, Mittel von der Deutschen Forschungsgemeinschaft zu bekommen, um seine Theorien experimentell zu bestätigen. Die Technische Universität München stellte ihm ein Labor zur Verfügung, in dem er mit der Chemikerin Dr. Claudia Huber experimentell zu forschen begann. In ihren Veröffentlichungen war aber von Pyrit und dem reversen Zitronensäurezyklus nicht mehr die Rede. Dafür arbeiteten die Forscher mit der Reduktion von CO<sub>2</sub> mit Wasserstoff zur aktivierten Essigsäure (Acetogenese), einen Weg, den noch heute die acetogenen Bakterien für ihren Energie- und Baustoffwechsel verwenden (Abbildung 3). Methanogene Archaeen nutzen die Methanogenese für ihren Energiestoffwechsel, während sie ebenfalls über die Acetogenese Zellmaterial synthetisieren. Acetogenese und Methanogenese sind die einzigen in der Natur vorkommenden Wege der CO<sub>2</sub>-Fixierung, die keine zusätzliche Energie benötigen. Die notwendige Energie liefert die Reduktion von CO<sub>2</sub> mit H<sub>2</sub> selbst. Trotzdem ist diese Reduktion ein chemisch schwieriger Prozess, der nur mit einem geeigneten Katalysator abläuft. Da Huber und Wächtershäuser diesen Katalysator nicht hatten, ersetzten sie CO<sub>2</sub> durch das leichter reduzierbare Kohlenmonoxid (CO) und behandelten es zusammen mit H<sub>2</sub> und

**ABB. 3 | STOFFWECHSELWEGE AM URSPRUNG DES LEBENS**



**Die beiden Stoffwechselwege von heutigen anaeroben Bakterien und Archaeen (siehe Kasten „Archaea und Bacteria“) zu Acetat und Methan sind die einzigen bekannten CO<sub>2</sub>-Fixierungen, die Energie abgeben statt zu verbrauchen.**

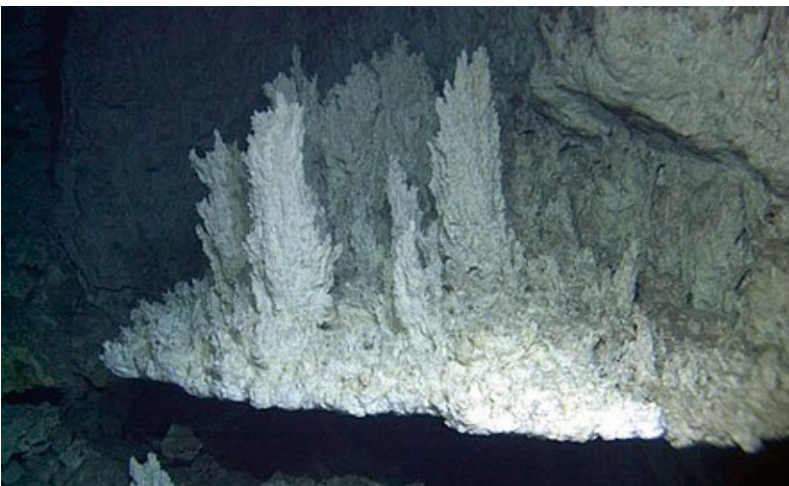
## ARCHAEA UND BACTERIA

Beide sind Einzeller ohne Zellkern, deren DNA sich im Zytoplasma befindet. Sie werden daher im Gegensatz zu den Eukaryoten (Tiere, Pflanzen und Pilze mit echtem Zellkern) Prokaryoten genannt. Deren Zellen haben ein ca. 1000-fach kleineres Volumen als die der Eukaryoten. Archaea (Archaeen) und Bacteria (Bakterien) unterscheiden sich durch den Aufbau der Zellmembran und der Zellwand. Archaea sind durch ihren genetischen Apparat näher mit Eukaryoten verwandt als Bacteria.

H<sub>2</sub>S in einer wässrigen Suspension aus Nickelsulfid, Eisensulfid und Selen als Katalysatoren bei 100 °C. Die Bildung von aktivierter Essigsäure (Acetylmethylsulfid) aus CO konnte mit Anilin als Acetanilid nachgewiesen werden [8]. Die Forscher betrachten diese Bildung der aktivierten Essigsäure als die ursprüngliche (primordiale) Initiationsreaktion für den Ursprung des Lebens. Allerdings gab es in der Uratmosphäre wahrscheinlich kein CO.

### Ursprung des Lebens in hydrothermalen Schloten?

Hydrothermale Schloten in den Ozeanen sind durch die *Black Smoker* (schwarze Raucher) bekanntgeworden. An der Bruchlinie des Atlantischen Rückens, wo der amerikanische und der afrikanische Kontinent auseinander driften, wird 400 °C heißes, schwefelwasserstoffhaltiges und durch Metallsulfide schwarz gefärbtes Wasser in den sauerstoffreichen kalten Ozean gepumpt. Schwefelbakterien oxidieren den Schwefelwasserstoff mit dem Sauerstoff aus dem Meerwasser zu Schwefel und Schwefelsäure und gedeihen dabei prächtig. Diese Bakterien bilden wiederum die Nahrung für eine riesige Vielfalt von Muscheln und Krebsen, die man um die *Black Smoker* herum findet. Da aber Leben sicher nicht im sauerstoffreichen Wasser, sondern unter anaeroben Bedingungen entstanden ist, müsste dies bei 400 °C geschehen sein, was aber unmöglich ist. Die bis jetzt festgestellte obere Temperaturgrenze von Leben liegt



**ABB. 4 Weiße kalkige hydrothermale Schloten von Lost City.** Foto: National Science Foundation (University of Washington/Woods Hole Oceanographic Institution) über Wikimedia Commons.

bei 112 °C, bei der das Archaeum *Methanopyrus kandleri* gerade noch wachsen kann.

Neben den *Black Smokers* gibt es 15 km westlich der Bruchlinie Quellen, die weniger heiß sind und auf einem 3800 m hohen Unterwasserplateau in 700 m Wassertiefe gefunden wurden. Auf dem Plateau stehen bis zu 60 m hohe Calcit-, Aragonit- und Brucit-Kamine mit zarten bis massiven Zinnen, die an das verlorene Land Atlantis erinnern und *Lost City* genannt wurden (Abbildung 4). Das aus den Kaminen ausströmende alkalische heiße Wasser (pH 9, 40–70 °C) enthält CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S), Methan (CH<sub>4</sub>) und Kalziumkarbonat. Beim Austritt in den Ozean kristallisiert das Karbonat und bildet die bizarren Kamine. Der Wasserstoff, dessen Reduktionskraft bei dem alkalischen pH 9 gegenüber dem neutralen pH 7 erheblich erhöht ist, stammt aus der Serpentinisierung des Eisen(II)-haltigen Olivins, der dem Wasser (H<sub>2</sub>O) den Sauerstoff entzieht, wobei der Eisen(III)-haltige Serpentin übrigbleibt. Durch die vulkanische Aktivität im Untergrund von *Lost City* wird Olivin immer neu gebildet, so dass kontinuierlich Wasserstoff entsteht. Die heutigen Schloten sind mit Bakterien und Archaeen bewachsen, von denen letztere das Methan aus CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> erzeugen [9, 10].

Mehrere Autoren, insbesondere William F. (Bill) Martin (\*1957, Professor für Mikrobiologie an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf) und Michael J. Russell (\*1939, California Institute of Technology, Pasadena, USA), postulieren, dass die Bedingungen, wie sie in *Lost City* und ähnlichen Schloten herrschen, ideale Geburtsstätten des Lebens gewesen sein könnten [11]. Während *Lost City* nur einige tausend Jahre alt ist, könnten solche Bedingungen auch im Ozean des Hadaikums vor 4,5–4,0 Milliarden Jahren geherrscht haben. Vor 4,5 Milliarden Jahren ist die Protoerde mit Theia, einem Gestirn von der Größe des heutigen Mars, zusammengestoßen und verschmolzen. Aus dieser Kugel hat sich der Mond abgetrennt, die flüssige Erde ist fest geworden und hat sich so weit abgekühlt, dass der Wasserdampf mit CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre als Regen kondensierte und die Ozeane füllte. Fossile Funde deuten daraufhin, dass es vor 4,0 Milliarden Jahren sehr wahrscheinlich schon erstes Leben gab, das innerhalb von „nur“ 500 Millionen Jahren entstanden ist [12].

Die zur Entstehung des Lebens notwendige Energie kommt in *Lost City* also direkt aus dem heißen Erdinneren und nicht von der Sonne oder von atmosphärischen Entladungen (Gewittern). Aus CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>S könnten sich in Gegenwart von Eisen, Nickel, Cobalt und Selen einfache Aminosäuren gebildet haben, da die genannten Metalle mit H<sub>2</sub> die Reduktion von CO<sub>2</sub> katalysieren konnten [13]. Kürzlich wurde experimentell gezeigt, dass metallisches Eisen, das in den Schloten vorkommt, den Wasserstoff so aktiviert, dass er CO<sub>2</sub> reduzieren kann [14] (vergl. Wächtershäusers *in statu nascendi*). Eine weitere Hürde war die Reduktion von atmosphärischem Stickstoff (N<sub>2</sub>) zu Ammoniak (NH<sub>3</sub>), der zur Synthese von Aminosäuren und den Bausteinen der Nukleobasen, aus denen RNA und

DNA bestehen, benötigt wird. Auch dabei könnte das metallische Eisen in den Schloten eine wichtige Rolle gespielt haben.

Die für die heutige Acetogenese notwendigen Coenzyme haben Strukturen, die mit denen der Nucleobasen – Pyrimidine und Purine – verwandt sind. Somit bildet die Evolution der Acetogenese eine Brücke zum genetischen Apparat. Die aus den Schloten heraustretende *primordial soup* (Ursuppe) war für die Entwicklung von Leben sicher zu dünn. Im Elektronenmikroskop sieht man aber auf der Innenseite der Schlote winzige Poren, die als Vorläufer von Zellen angesehen werden können. Darin könnte sich die Ursuppe konzentriert und weiter zu Zellen entwickelt haben.

Aus den „Zellen“ im Inneren der Schlote entstand vermutlich vor 4,0 Milliarden Jahren zum ersten Mal fortpflanzungsfähiges Leben, aus dem nach etwa 200 Millionen Jahren „Luca“ (*Last universal common ancestor*) hervorging [14]. Dieser hat sich in zwei verschiedene Richtungen weiterentwickelt: zur Acetogenese und zur Methanogenese hin (Abbildung 3). Die Zellen mit Acetogenese bildeten die Vorstufen der heutigen Bacteria und diejenigen mit Methanogenese waren die Vorläufer der heutigen Archaea.

### Zusammenfassung

Die seit der Antike herrschende Auffassung der Urzeugung wurde in der Neuzeit experimentell widerlegt. Versuche zur heterotrophen Entstehung des Lebens führten im 20. Jahrhundert in eine Sackgasse. CO<sub>2</sub>-Fixierungswege von anaeroben Bakterien und Archaeen gaben in den vergangenen 30 Jahren Hinweise für einen autotrophen Ursprung, welcher vor vier Milliarden Jahren in hydrothermalen alkalischen Schloten stattgefunden haben könnte. Derartige Schlote befinden sich heute neben der Bruchlinie des Atlantischen Ozeans zwischen Nordafrika und Nordamerika und wurden 2001 zum ersten Mal beschrieben.

### Summary

#### About the origin of life

The concept of primordial spontaneous generation, which has prevailed since antiquity, has been experimentally refuted in modern times. Attempts to generate life via a heterotrophic origin led to a dead end in the 20<sup>th</sup> century. In the past 30 years, however, the CO<sub>2</sub> fixation pathways of anaerobic bacteria and archaea have indicated an autotrophic origin. This may have taken place in similar hydrothermal alkaline vents, which today are found close to the spreading axis of the Mid-Atlantic Ridge between the North American and the North African continent.

### Schlagworte:

Urzeugung, Panspermie, heterotroph, autotroph, anaerobe Bakterien und Archaeen, lat. Bacteria et Archaea, CO<sub>2</sub>-Fixierungswege, Pyritbildung, hydrothermale Schlote, Wasserstoff in *statu nascendi*, aktivierte Essigsäure.

### Literatur

- [1] C. Darwin (1872). *The Origin of Species by Means of Natural Selection*. 6th Edition. John Murray, London 1872.
- [2] E. Haeckel (1874). *Natürliche Schöpfungsgeschichte*, 5. Auflage, Berlin, S. 301
- [3] S. L. Miller (1953). A Production of Amino Acids under Possible Primitive Earth Conditions. *Science* 117, 528–9.
- [4] W. Buckel, S. L. Miller (1987). Equilibrium constants of several reactions involved in the fermentation of glutamate. *Eur. J. Biochem* 264, 565–569.
- [5] Das Liebig Museum befindet sich in Gießen in der Nähe des Bahnhofs. Wegen eines Brandschadens ist es leider bis auf Weiteres wegen Bauarbeiten nur für Gruppen mit Buchung geöffnet (12.05.2024).
- [6] J. D. Watson, F. Crick (1953). Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid. *Nature* 171, 737–738.
- [7] G. Wächtershäuser (1988). Before enzymes and templates: theory of surface metabolism. *Microbiol Rev.* 52, 452–484.
- [8] C. Huber, G. Wächtershäuser (1997). Activated acetic acid by carbon fixation on (Fe,Ni)S under primordial conditions. *Science* 276, 245–247.
- [9] D. S. Kelley et al. (2001). An off-axis hydrothermal vent field near the Mid-Atlantic Ridge at 30 degrees N. *Nature* 412, 145–149, <https://doi.org/10.1038/35084000>. Dieser Artikel enthält weitere Aufnahmen von *Lost City*.
- [10] D. S. Kelley et al. (2005). A serpentinite-hosted ecosystem: The *Lost City* hydrothermal field. *Science* 307, 1428–1434. In diesem Artikel findet man eine Zeichnung, die die Geologie und Topographie von *Lost City* darstellt.
- [11] W. F. Martin, M. J. Russell (2007). On the origin of biochemistry at an alkaline hydrothermal vent. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 362, 1887–1925.
- [12] N. Mrnjavac et al. (2023). The Moon-Forming Impact and the Autotrophic Origin of Life. *Chempluschem* 88(11): e202300270. <https://doi.org/10.1002/cplu.202300270>.
- [13] F. L. Sousa et al. (2018). Native metals, electron bifurcation, and CO<sub>2</sub> reduction in early biochemical evolution. *Curr Opin Microbiol.* 43, 77–83. [doi.org/10.1016/j.mib.2017.12.010](https://doi.org/10.1016/j.mib.2017.12.010)
- [14] M. Brabender et al. (2024) Ferredoxin reduction by hydrogen with iron functions as an evolutionary precursor of flavin-based electron bifurcation. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 121: e2318969121. <https://doi.org/10.1073/pnas.2318969121>.

### Verfasst von:



Wolfgang Buckel, geb. 1940, studierte Chemie an der Ludwigs-Maximilian-Universität in München. Diplom 1965, Promotion 1968, Postdoktorand in München (1968) und Berkeley, Kalifornien (1970–71). Akademischer Rat/Direktor an der Universität Regensburg (1969–1987), Habilitation 1975, Professor für Mikrobiologie an der Philipps-Universität Marburg (1987–2008). Fellow der Max-Planck-Gesellschaft am Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie in Marburg (2008–2017). Arbeiten zum Mechanismus und zur Bioenergetik enzymatischer Reaktionen in anaeroben Bakterien, insbesondere mit Coenzym B12 und ATP abhängigen Radikalreaktionen. Entdeckung und Mechanismus der Flavin-basierten Elektronen-Bifurkation.

#### Korrespondenz

Prof. Dr. Wolfgang Buckel  
Am Köppel 8  
35043 Marburg  
Email: [buckel@staff.uni-marburg.de](mailto:buckel@staff.uni-marburg.de)

Nach einem Vortrag, den der Autor bei der Versammlung der Marburger Gelehrtenesellschaft am 15. November 2022 gehalten hat.



Hochaufgelöste Drohnenbilder liefern neue Einblicke  
in intraspezifische blühphänologische Variationen

# Unerwartete Vielfalt im Reproduktionsverhalten von *Calluna vulgaris*

CARSTEN NEUMANN | VANESSA OCHLAST | MICHELLE PRAUSS

*Nur auf den ersten Blick erscheint die Besenheide in der Kyritz-Ruppiner Heide im Spätsommer als einheitlich lilafarbene Fläche. Aus größerer Höhe jedoch zeigen sich vielfältigere Farbeindrücke und wir bekommen eine Ahnung von der Diversität im Blühverhalten, die im raumzeitlichen Zusammenspiel aller Individuen innerhalb einer Population von *Calluna vulgaris* sichtbar wird.*

Mit dem Aufkommen der Blütenpflanzen vor etwa 140 Millionen Jahren begann die jüngste Phase der Evolution im Pflanzenreich. Bis heute hat sich diese relativ junge Gruppe der Landpflanzen – auch Bedecktsamer oder Angiospermen genannt – in ca. 370.000 Arten diversifiziert und ist damit die mit Abstand häufigste Pflanzenklasse der Erde [1]. Die Blüten dieser Pflanzen repräsentieren dabei die vielfältige Komplexität optischer Anziehungspunkte für die sexuelle Fortpflanzung. Nicht nur verschiedene Formen von Blüten haben sich entwickelt und werden immer noch durch Genexpression, epigenetische Mechanismen und Umwelteinflüsse verändert, sondern auch raumzeitliche Muster im Blühverhalten und



Die mit einem grünen Pfeil markierten Begriffe werden im Glossar auf Seite 258 erklärt.

deren biotische Interaktionen bestimmen die Blühphänologie von Individuen. Diese variiert sowohl zwischen den Arten eines Pflanzenbestandes (interspezifisch) als auch innerhalb einer Art auf Populationsebene (intraspezifisch) [2, 3]. Die Reproduktionsökologie der Angiospermen liefert uns somit die Grundlagen für das Verständnis der phänotypischen und genetischen Vielfalt, ihrer Regulierung und ihrer Auswirkungen auf die Populationsdynamik. Insbesondere innerartliche Variationen erlauben Rückschlüsse auf ökosystemare Prozesse wie die Koevolution von Bestäubern oder die Stabilität und Widerstandsfähigkeit von Populationen in einer sich klimatisch verändernden Welt [4].

Als ein Modellorganismus für die Beobachtung der intraspezifischen blühphänologischen Variation wurde die Besenheide (*Calluna vulgaris*) ausgewählt. Dieser Zwergstrauch kann sich auf geeigneten Standorten über große Gebiete in monodominanten, naturnahen Populationen erstrecken. In der Kyritz-Ruppiner Heide kommen solche Bestände als in der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie geschützter Lebensraumtyp 4030 (Trockene Europäische Heiden) vor. Um dessen Fortbestand zu gewährleisten, müssen gezielt Maßnahmen durchgeführt werden, da Heidekraut – wie die Besenheide auch genannt wird – sonst nach wenigen Jahrzehnten erst überaltern, dann sukzessionsbedingt gänzlich verschwinden würde. Hier setzt die Heinz Sielmann Stiftung gezielt Maßnahmen der Landschaftspflege wie Mahd oder kontrollierte Feuer ein, die Jungtriebe fördern und zu einer Verjüngung der Bestände über Samenkeimung führen sollen. Auf diese Weise kann der lila Blühaspekt jedes Jahr aufs Neue an den frischen Ausrieben in Erscheinung treten.

Die Blühphänologie des Heidekrauts mag auf den ersten Blick keine großen Geheimnisse bergen. Ab Anfang August erstrahlen die großen Heidegebiete scheinbar einheitlich in Lila. Eine andere Perspektive ergibt sich jedoch aus der Luft, wenn das Blühverhalten von *Calluna* über Kameras, die an Drohnen (*unmanned aerial vehicles*, UAV) angebracht sind, erfasst wird. Plötzlich können wir die ganze Farbenvielfalt von tausenden Individuen innerhalb einer Population überblicken. Aus der Höhe wird erkennbar: Es wechseln sich knospende mit blühenden Individuen oder mit gänzlich vegetativen, grün gebliebenen ab; andere sind bereits in der Reifephase der Früchte. Mit Fortschreiten des Spätsommers ändert sich das Farbenspiel in fluktuierenden Mustern über den gesamten Verlauf einer Blühphase bis Ende September. Jeder Tag lässt dabei andere Individuen aufblühen oder verblühen. Dabei ist die individuelle Phänologie räumlich heterogen und unterscheidet sich auch zwischen den Jahren.

Um die riesigen Datenmengen der hochauflösenden Drohnenbilder auswerten zu können, stehen heute digitale Technologien zur Verfügung, die hochauflösende Drohnenbilder quantitativ und automatisiert über Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) auswerten können. Diese erlauben es, raumzeitliche Zusammenhänge in der

Blühphänologie sichtbar zu machen und daraus Rückschlüsse auf das Reproduktionsverhalten von *Calluna* und dessen Einflussfaktoren zu ziehen.

### Drohnenbefliegung der Kyritz-Ruppiner Heide

Als Untersuchungsgebiet zur Bestimmung der *Calluna*-Blühphänologie diente ein 1,6 ha großes Areal auf dem ehemaligen Truppenübungsplatz der Kyritz-Ruppiner Heide im Nordwesten von Brandenburg (Abbildung 1). Das Untersuchungsgebiet wurde mit einer DJI Phantom 4 Pro mit einer 8-bit Rot-Grün-Blau (RGB) 20-Megapixel-Kamera mit integriertem ▶ 1“-CMOS-Sensor befliegen. Daraus ergeben sich bei einer beidseitigen Überlappung von 80 Prozent und einer Flughöhe von 60 m für jeden Überflug 178 Einzelphotos, die über den Pix4Dcloud-Service zu einem ▶ Orthomosaik, einem digitalen Gesamtbild, über ▶ photogrammetrische Verfahren zusammengesetzt wurden. In der Hauptblühphase von Anfang August bis Mitte September in den Jahren 2022 und 2023 wurde wöchentlich ein Drohnenflug realisiert. Die einzelnen Orthomosaik wurden als Zeitreihe homogenisiert, indem eine räumliche ▶ Koregistrierung mit ▶ Resampling auf die Pixelgröße von 1,3 cm erfolgte [5]. Anschließend wurde über ein KI-basiertes Verfahren nach Neumann et al. [6] Besenheide von anderen Pflanzenarten und Hintergrundpixeln ge-

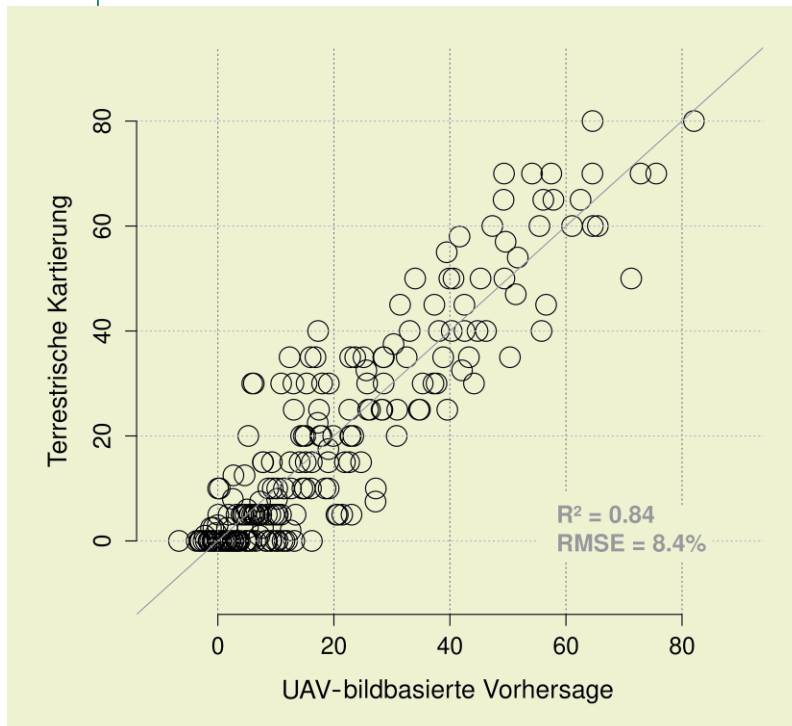
#### IN KÜRZE

- Innovative Ansätze mit Fernerkundungstechnologien von räumlich **hochauflösenden** Drohnenbildern in Kombination mit **Künstlicher Intelligenz** bergen neue Möglichkeiten für das Naturschutzmonitoring vor allem zur **Analyse von Populationsdynamiken** in großen und schwer zugänglichen, naturnahen Gebieten wie stark munitionsbelasteten ehemaligen Truppenübungsplätzen.
- Die Besenheide (*Calluna vulgaris*) kann aufgrund ihrer flächigen monodominanten Ausprägung als **Modellorganismus zum Verständnis der intraspezifischen Diversität** von Pflanzeigenschaften und deren Einfluss auf die **Resilienzfähigkeit quasi-natürlicher Pflanzenpopulationen** unter Berücksichtigung von koevolutiven Prozessen wie Bestäuberinteraktionen herangezogen werden.
- Anhand tausender Individuen, die in einem KI-Verfahren abgegrenzt und nach Reproduktionsverhalten quantitativ analysiert worden sind, konnte erstmalig gezeigt werden, dass *Calluna vulgaris* hinsichtlich **blütenphänologischer Merkmale eine hohe individuelle räumliche und zeitliche Variabilität** aufweist, die nicht allein durch externe Standorteigenschaften erklärt werden kann.
- Die Reproduktionsraten von *Calluna*-Populationen können anhand eines Medianverhaltens, das sich an übergeordneten Faktoren ausrichtet, beschrieben werden. Die **Blühintensitäten von einzelnen Individuen** sind im Vergleich verschiedener Jahre nicht vorher-sagbar, was auf weitere regulatorische Mechanismen schließen lässt.



**ABB. 1** Der variable Blühaspekt von *Calluna vulgaris* auf der untersuchten Testfläche im September 2022 in der 2. Vegetationsperiode nach Brandpflege. lila = Blüten, grün = vegetative Triebe, orange = Fruchtsände. Drohnfoto: GFZ.

**ABB. 2** | MODELLIERUNG DER BLÜTENANTEILE IN %



Dargestellt ist der Zusammenhang zwischen terrestrisch kartierten und auf der Grundlage von Farbwerten aus Drohnenaufnahmen berechneten Blütenanteilen [0–100%]. Die Darstellung basiert auf einer Leave-One-Out-Kreuzvalidierung über  $n = 249$  Aufnahmen.

trennt und darin die Abgrenzung von Einzelindividuen über eine Segmentierung als flächenscharfe Polygone ausgegeben. Insgesamt wurden  $n = 83.920$  Individuen und deren RGB-Farbwerte als Grundlage zur Modellierung der blühphänologischen Variabilität ausgewiesen.

### Terrestrische Aufnahmen

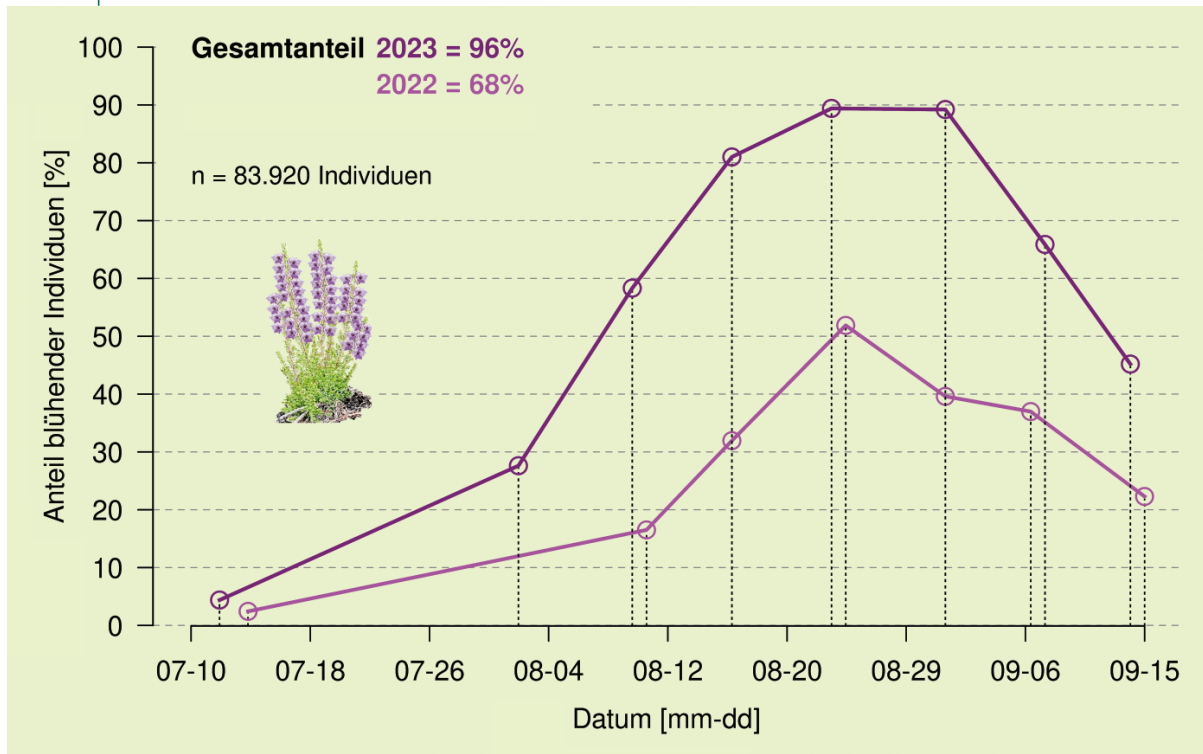
Die terrestrische Kartierung erfolgte in den Jahren 2022 und 2023 jeweils während der Blühphase wöchentlich zwischen dem 17. August und dem 08. September an insgesamt acht Tagen an 86 unterschiedlichen Individuen mit einer Gesamtprobenanzahl von  $n = 249$ . Im Feld wurden der Blütenanteil pro Individuum – als Anteil geöffneter Blüten – sowie Knospenanteil, Fruchtanteil und Grünanteil (photosynthetisch aktive und inaktive Blätter) visuell erfasst. Der Blütenanteil pro Individuum erreicht nie 100 Prozent, da Blätter im unteren basalen Triebansatz ausgebildet sind und selbst in witterungsbedingt günstigen Jahren vegetative Triebe ohne Blütenbildung existieren.

### Modellierung der Daten

Die Individuen der terrestrischen Kartierung wurden in den Drohnenaufnahmen in ihrer Ausdehnung exakt identifiziert, dann als räumlich lokalisierte Pflanzensegmente im Bild abgegrenzt und darin die normalisierten Farbwerte aus den enthaltenen Bildpixeln sowie deren quadratische Terme extrahiert und gemittelt. Die so gewonnenen Farbinformationen der Individuen aus den Drohnenaufnahmen wurden über eine multiple lineare Regression mit rückwärtiger Variablenselektion anhand des Akaike-Informationskriteriums [7] modelliert. Das finale Regressionsmodell erlaubt es, den Blühaspekt der digitalen Pflanzensegmente über eine Kombination signifikanter Farbwerte aus den Drohnenaufnahmen mit hinreichender Genauigkeit vorherzusagen. Die Bewertung der Vorhersagegüte wird über eine Leave-One-Out-Kreuzvalidierung beschrieben (Abbildung 2). Die Blütenanteile können dabei mit einer mittleren Fehlerabweichung von  $\text{RMSE} = 8,4\%$  und einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,84$  über die Farbwerte der Drohnenaufnahmen modelliert werden. Das Regressionsmodell wurde anschließend zur Berechnung der Blütenanteile aller Individuen (in  $n = 83.920$  Pflanzensegmenten) auf das jeweilige Drohnenaufnahmesystem für sämtliche Aufnahmezeitpunkte angewendet. Auf diese Weise kann der Blühverlauf für jedes Individuum räumlich explizit aufgezeichnet werden.

### Verlauf der Blühphase

Die *Calluna*-Blühphase kann über den Anteil an blühenden Individuen an der Gesamtpopulation dargestellt werden (Abbildung 3). Dabei wird aus den Drohnenaufnahmen über das Regressionsmodell berechnet, welche Individuen während des Aufnahmezeitpunktes blühen. Es ergibt sich eine typische unimodale Verteilung, wobei in beiden Aufnahmejahren ähnliche Befliegungszeitpunkte gewählt


**ABB. 3 | VERLAUF DER CALLUNA-BLÜHPHASE IN DEN JAHREN 2022 UND 2023**


Gezeigt ist der Anteil von blühenden Individuen an der Gesamtpopulation pro Zeitabschnitt; aufgezeichnet durch Drohnenbilder an den jeweiligen Zeitpunkten.

wurden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Drohnenbilder eine wöchentliche Auflösung liefern, es also zu zeitlich geringen Verschiebungen kommen kann. Im Jahr 2023 konnte bei insgesamt 96 Prozent, im Jahr 2022 bei lediglich 68 Prozent der Individuen eine Blütenbildung während der gesamten Blühphase erkannt werden. Das Maximum wurde am 25. bzw. 24. August erreicht (Gipfelpunkt der Blühphase). An diesem Tag blühten 52 Prozent aller Individuen im Jahr 2022 und 89 Prozent im Jahr 2023. Damit bestehen innerhalb einer Population jährlich unterschiedliche Reproduktionsraten. Die Verteilungsfunktion der jährlichen Blühphase (d. h. ihr Verlauf) beschreibt dabei das Reproduktionsverhalten aller Individuen der Population. Einflussfaktoren stellen z. B. der Witterungsverlauf – insbesondere der Niederschlag als limitierender ökologischer Faktor – oder die Altersstruktur einer Population dar.

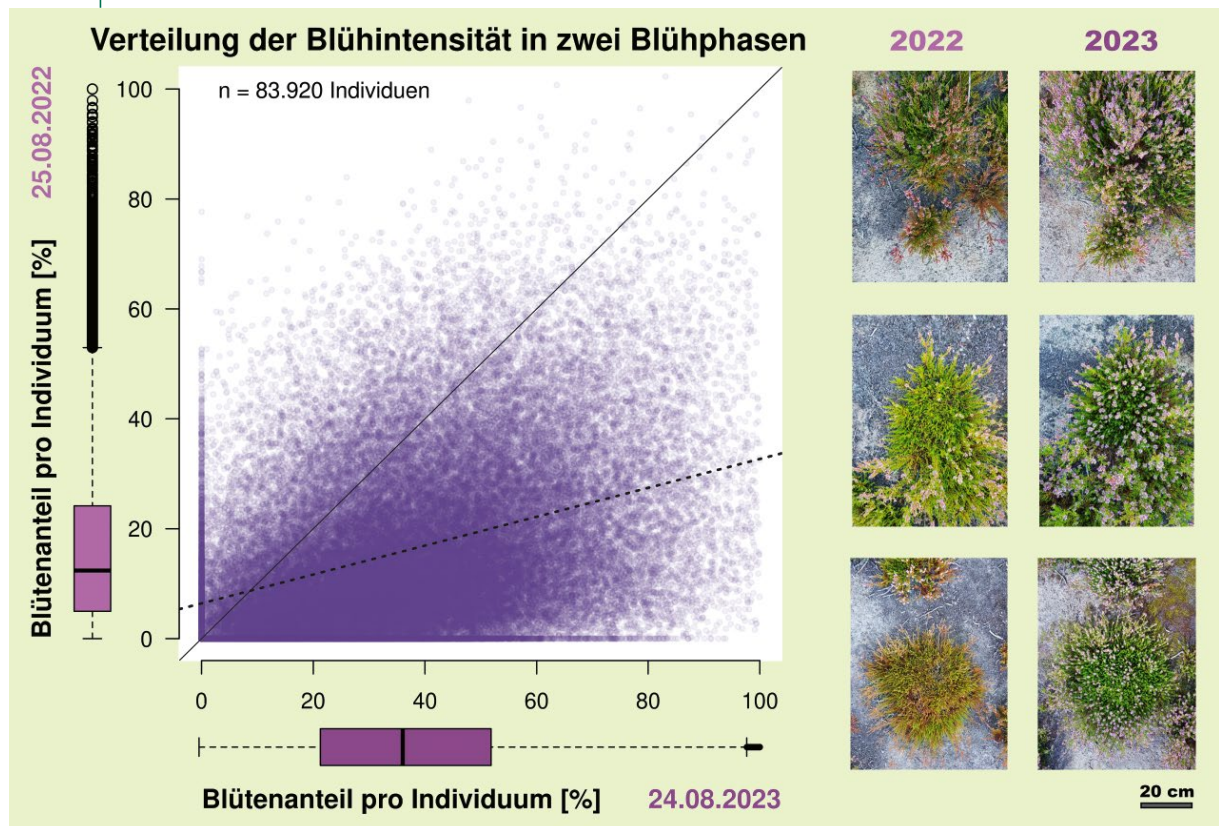
### Variabilität der Blühintensität

Neben der Aussage, ob ein Individuum blüht oder nicht, liefert die Modellierung der Blütenanteile pro Individuum eine quantitative Angabe darüber, wie stark die Blühintensität eines Individuums tatsächlich ausgeprägt ist. Die Analyse der Blühintensität aller Individuen einer Population erlaubt erstmalig detaillierte Einsichten in das Populationsverhalten (Abbildung 4). Es kann festgestellt werden, dass die mittlere Blühintensität in ungünstigen Jahren (wie z. B. 2022) reduziert ist. Sie liegt im Median im Jahr 2022 bei 12 Prozent und bei 36 Prozent im Jahr 2023. Dennoch treten in beiden Jahren immer auch schwach

blühende und stark blühende Individuen auf. Es kann verallgemeinert ausgesagt werden: Es gibt Individuen, die blühen stark in ungünstigen Jahren, und es gibt Individuen, die blühen schwach in günstigen Jahren. Eine Population bildet also stets die mögliche Gesamtvariation des Reproduktionsverhaltens ab, wobei es zu Verhaltenshäufungen und damit zur Ausbildung einer Medianreproduktionsrate für die Gesamtpopulation kommt.

Hier ergibt sich nun eine interessante Fragestellung: Sind die Schwach- oder Starkblüher in einem Jahr auch die Schwach- oder Starkblüher des anderen Jahres, gibt es also ein konvergentes individuelles Verhalten zwischen den Jahren? Da wir aus den Drohnenbildern die Lage eines jeden Individuums kennen, lässt sich über eine zeitliche Korrelationsanalyse der Blühintensitäten herausfinden, wie stark sich ihr Verhalten zwischen den Jahren ähnelt (Abbildung 4). Der Vergleich über alle Individuen liefert nur schwache Hinweise für ein statisches Verhalten. Es kann zwar ein signifikanter Zusammenhang beschrieben werden ( $p < 0,01$ ), dieser unterliegt jedoch einer großen Streuung ( $R^2 = 0,14$ ), so dass das lokale Auftreten von Stark- bzw. Schwachblühern zwischen den Jahren wenig korreliert. Es ist von einer hohen individuellen Variabilität zwischen den Jahren auszugehen. Diese überraschende Beobachtung weist darauf hin, dass hier kleinräumige standörtliche Gegebenheiten oder genetische Vorprägungen eine nur untergeordnete Rolle für die Festlegung von individuellem Reproduktionsverhalten spielen.

ABB. 4 | STREUDIAGRAMM DER BLÜHINTENSITÄT ALLER *CALLUNA*-INDIVIDUEN



Die Daten stammen aus den Jahren 2022 und 2023 am jährlichen Gipfelpunkt der Blühphase. ► Boxplots zeigen die Verteilung der Blühintensität zu den Aufnahmezeitpunkten der Drohnenbefliegung. Rechts: Feldfotos von Einzelindividuen mit unterschiedlicher Ausprägung der Blüte zwischen den Jahren.

### Der räumliche Zusammenhang

Sollte das individuelle Reproduktionsverhalten vorwiegend durch Standorteigenschaften beeinflusst werden, dann müsste eine ► räumliche Autokorrelation, also ein ähnliches Blühverhalten zwischen naheliegenden Individuen nachweisbar sein, weil diese folglich auch in geringen Entfernungen zueinander geringeren Standortvariationen unterliegen. Da die *Calluna*-Individuen anhand der Drohnenaufnahmen räumlich explizit als Pflanzensegmente abgegrenzt und lokalisiert werden können, ist es möglich, die tatsächliche räumliche Korrelationsentfernung der Blühintensität als Maß der Autokorrelation zwischen den Individuen zu bestimmen (Abbildung 5). Die Blühintensität selbst weist dabei eine intraspezifische Variabilität auf (in Abbildung 5 als ► Semivarianz dargestellt), die mit zunehmender Entfernung der Individuen zueinander ansteigt.

Bis zum Erreichen der maximalen intraspezifischen Variabilität verhalten sich benachbarte Individuen an den zwei ausgewählten Aufnahmetagen ähnlich. Da die mittlere Entfernung des naheliegendsten, also direkt benachbarten *Calluna*-Individuums mit  $\varnothing = 0,50$  m bekannt ist, wird deutlich, dass die maximale intraspezifische Variabilität bereits bei Abständen erreicht wird, die im Bereich der unmittelbaren Nachbarindividuen liegen. Eine räum-

liche Autokorrelation besteht daher lediglich unterhalb dieser Abstände, was darauf schließen lässt, dass schon benachbarte Individuen sich vollkommen unabhängig voneinander verhalten können, ihre Blühintensität demzufolge auf geringen Entfernungen maximal variieren kann. Ganz sicher gibt es übergeordnete ökologische Faktoren wie Niederschlag, Temperatur und Photoperiode, die einen Einfluss auf das Medianverhalten der Gesamtpopulation haben (Abbildung 3). Auf der Betrachtungsebene der Individuen sind jedoch keine Muster erkennbar, die die räumliche Verteilung der Blühintensität innerhalb der Population erklären können (Abbildung 5).

Neben der zeitlichen Asynchronität zwischen den Jahren ist daher zusätzlich eine kleinskalige, räumliche Heterogenität im Blühverhalten vieler Individuen feststellbar. Die Ausbildung von individuellen Blütenanteilen lässt sich demzufolge nicht vollständig durch übergeordnete, raumzeitlich stationäre Muster beschreiben. Sie bildet vielmehr ein dynamisches Verhalten ab, das auf komplexe Interaktionen – sowohl innerhalb einer Population als auch im Zusammenspiel mit äußeren Faktoren – schließen lässt. Das Blühverhalten weist damit eine erstaunliche raumzeitliche Variabilität auf, wobei individuelle Reproduktionsraten stark variieren können.



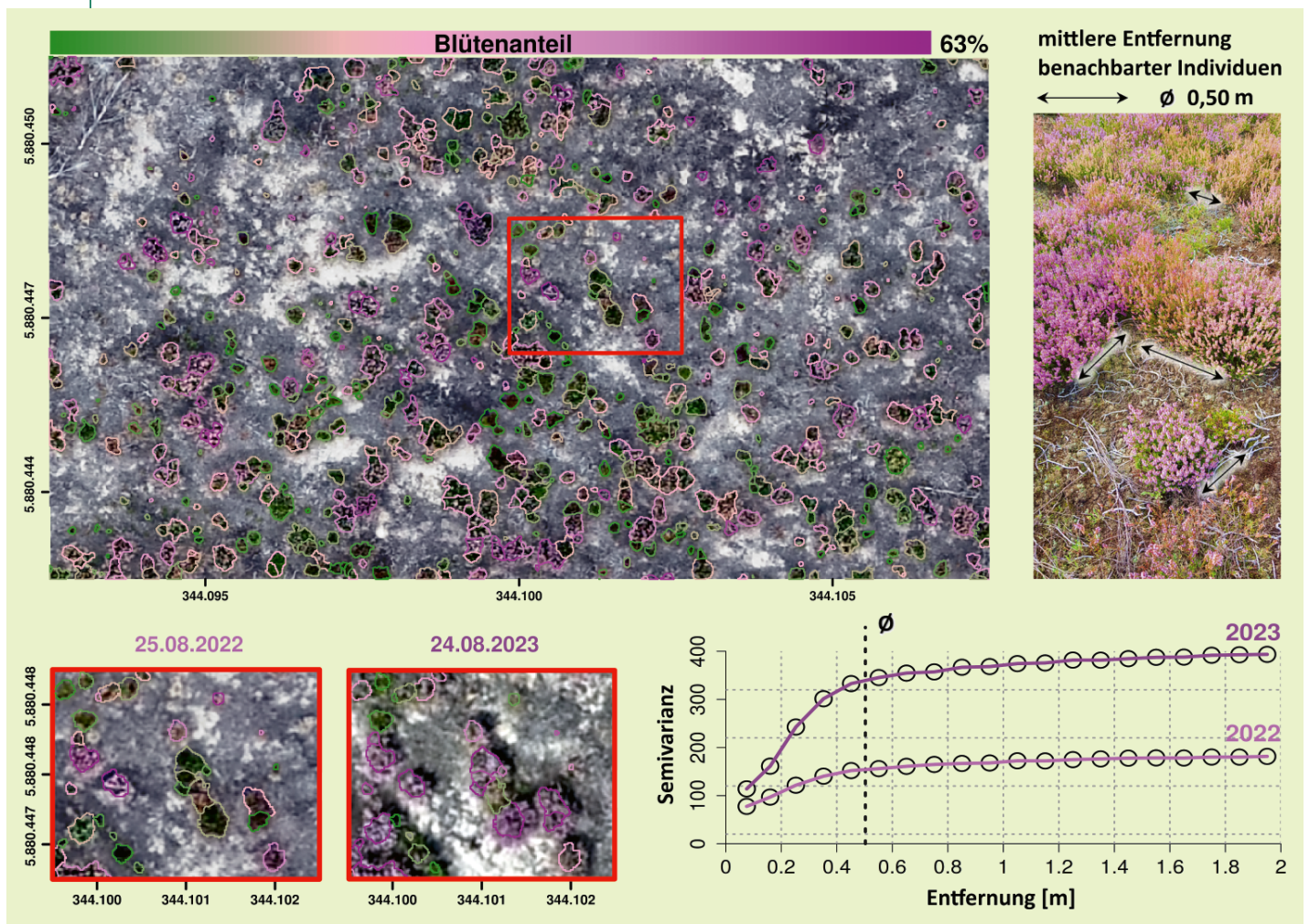


### Die ökologische Bedeutung phänologischer Variation

Welche Prozesse könnten die Entwicklung einer solchen Variabilität in Populationen begünstigen? Der Reproduktionserfolg zoophiler Pflanzen hängt davon ab, wann und in welcher Menge Reproduktionsorgane gebildet werden, aber auch vom Bestäubervorkommen. Bei raumzeitlichen Variationen innerhalb der Population kommt es zu wechselseitigen Effekten auf Seiten der Bestäuber und der Blühpflanzen. Durch das vereinzelt bzw. asynchrone Auftreten von blühenden Individuen wird beispielsweise die Konkurrenz um Bestäuber reduziert, gleichzeitig steht aber auch weniger genetisches Material im Vergleich zu synchronen Blühereignissen zur Verfügung. Durch eine hohe raumzeitliche Variation auf Individualebene besteht jedoch die Chance, dass die Nachbarn von Jahr zu Jahr gemischt und dadurch die Variation des Genflusses erhöht

werden kann [8, 9]. Vor allem in sehr großen monodominanten Beständen, wie es in der Kyritz-Ruppiner Heide der Fall ist, können daher asynchrone Muster eine sinnvolle Strategie sein, um intraspezifische Konkurrenz zu reduzieren und genetischen Austausch zu fördern. Zusätzlich sind Prozesse basierend auf intra- und interspezifischer Konkurrenz – als Folge der limitierten Anzahl an Bestäubern – eine treibende Kraft für die Variation der individuellen Phänologien innerhalb von Populationen [8, 10]. So konnte in der Kyritz-Ruppiner Heide beobachtet werden, dass verschiedene Hummelarten wie die Große Erdhummel (*Bombus magnus*) direkt von der Variabilität im Blühverhalten von *Calluna* profitieren. Während die Männchen der Hellen Erdhummel (*Bombus lucorum*) schon ab Juli die Besenheide als Nahrungspflanze aufsuchten, waren die Männchen der Großen Erdhummel erst Anfang September in größerer Zahl an *Calluna* zu finden. Durch

ABB. 5 | RÄUMLICH EXPLIZITE VISUALISIERUNG DER CALLUNA-INDIVIDUEN



Die *Calluna*-Individuen werden als Polygone auf einem Drohnenbild, das in metrischen ► UTM-Koordinaten projiziert vorliegt (Maßstab siehe Koordinatengitter in Metern), räumlich visualisiert. Die Färbung der Polygonumrandung entspricht dem berechneten Blütenanteil pro Individuum. Im Ausschnitt (rotes Rechteck) werden die Blühintensitäten der zwei Zeitabschnitte am Gipfel der Blühphasen gegenübergestellt; für das gesamte Gebiet dargestellt ist die Semivarianz im Abstand zur Entfernung der Individuen.

## GLOSSAR

**1“-CMOS-Sensor:** Ein als complementary metal-oxide-semiconductor aufgebauter Photodetektor zur Umwandlung von Lichtintensität in elektrische Signale.

**Akaike-Informationskriterium:** Kriterium zur Reduktion der Modellkomplexität über eine schrittweise Minimierung der Anzahl erklärender Variablen nach Hirotosugu Akaike.

**Boxplots:** Grafische Darstellung der Werteverteilung, wobei sich innerhalb eines Rechtecks (Box) die mittleren 50 % der Werte befinden.

**Koregistrierung:** Methode der digitalen Bildverarbeitung zur räumlich exakten Überlagerung mehrerer georeferenzierter Bilder.

**Leave-One-Out-Kreuzvalidierung:** Statistische Methode zur Berechnung der Modellgüte, wobei jeweils ein Datenpunkt geschätzt wird, der nicht zur Modellerstellung verwendet wurde.

**Orthomosaik:** Digitales Bild als Draufsicht errechnet aus vielen Einzelbildern.

**Photogrammetrie:** Bildmessverfahren u. a. zur Erstellung von 3D-Punktwolken aus Einzelbildern.

**R<sup>2</sup>:** Bestimmtheitsmaß einer linearen Regression zur Abschätzung der Modellresiduen.

**Räumliche Autokorrelation:** Selbstähnlichkeit von Umweltvariablen in Abhängigkeit von ihrer Entfernung zueinander.

**Resampling:** Methode der digitalen Bildverarbeitung zur Veränderung der Bildauflösung.

**RMSE:** root mean square error, die mittlere Fehlerabweichung zwischen Modellvorhersage und Feldschätzungen.

**Semivarianz:** Die quadrierte Differenz zweier Umweltvariablen, gemittelt über alle Umweltvariablen innerhalb einer definierten Entfernung zueinander.

**UTM-Koordinaten:** Die „universal transverse mercator“-Projektion zur Abbildung der Erdoberfläche in einem kartesischen Koordinatensystem, bestehend aus Y-Wert (Abstand Äquator) und X-Wert (Abstand Mittelmeridian) in Metern.

die spätere Blühphase einzelner *Calluna*-Individuen steht somit den Männchen der Großen Erdhummel in ihrer späteren Flugzeit noch ausreichend Nahrung zur Verfügung.

Aufgrund der zeitlichen Verschiebung des Blühzeitpunktes können zwar Beeinträchtigungen durch Konkurrenz oder Störungen wie beispielsweise durch Fraßfeinde reduziert werden, gleichzeitig kann es aber auch passieren, dass den Bestäuberpopulationen auf Kosten der Reproduktionsraten ungewollt ausgewichen wird. Da klimatische Faktoren die Lebenszyklen übergeordnet bedingen, können Individuen nur begrenzt auf zeitliche Verschiebung reagieren [9, 11]. Es zeigt sich also, dass *trade-offs* zwischen unterschiedlichen biotischen Interaktoren und Pflanzen bestehen können und gleichzeitig auch der Einfluss von klimatischen Standortfaktoren eine besondere Bedeutung für das Reproduktionsverhalten und damit für die zukünftige Einschätzung der Resilienz- und Widerstandsfähigkeit von *Calluna*-Populationen hat.

## Zusammenfassung

Die auf Drohnenaufnahmen basierten KI-Algorithmen ermöglichen es erstmalig, quantitative Aussagen über das Reproduktionsverhalten von *Calluna vulgaris* auf Populationsebene räumlich explizit über mehrere Reproduktionsphasen und individuen-spezifisch für eine große Individuenzahl abzuleiten. Die daraus extrahierten Muster geben überraschende Einsichten in die Variabilität der Blühphänologie von Populationen. So gibt es innerhalb einer Population immer ein Wechselspiel zwischen stark und schwach blühenden Pflanzen. Deren räumliche Konfiguration liefert keine erkennbaren Muster und deren zeitliche Ausprägung ist zwischen den Jahren nicht konstant. Zwar reagiert eine *Calluna*-Population auf sich verändernde Bedingungen mit einem Medianverhalten, d. h. eine Population blüht im Median mehr oder weniger, doch lassen sich daraus keine Rückschlüsse auf das individuelle Blühverhalten ziehen. Noch können wir das komplexe Zusammenspiel von biotischen und abiotischen Faktoren nicht zu einem vollständigen Bild über die Regulierungsmechanismen in Pflanzenpopulationen zusammensetzen. Der Einsatz von Drohnen wird uns zukünftig jedoch erlauben, weitere Informationen und neues Wissen über ökologische Zusammenhänge – insbesondere über die Funktionsweise von komplexen individuellen Interaktionen im Reich der Blütenpflanzen und deren Auswirkungen auf bestäubende Insekten – zu generieren. Dabei werden neue Auswerteverfahren entwickelt, die eine Vielzahl anderer Pflanzeigenschaften abbilden und in den Kontext von Populationsdynamiken stellen können, damit der langfristige Schutz und die Entwicklung natürlicher Lebensräume wissenschaftsbasiert umgesetzt werden können.

## Summary

### Unexpected diversity in the reproduction behaviour of *Calluna vulgaris*

For the first time, AI algorithms based on drone imagery allow us to deduce quantitative statements on the reproductive behaviour of *Calluna vulgaris* individuals at the population level – especially with regard to their spatial distribution at several reproductive phases – which can be done individual-specifically for a large number of individuals. The patterns thus extracted provide surprising insights into the variability of the flowering phenology of populations. For example, there is always an interplay within a population between profusely and weakly flowering individuals. However, their spatial configuration does not provide any recognizable patterns and its temporal appearance between the years does not remain constant. Even though a *Calluna* population reacts to changing environmental conditions with a median behaviour, i. e. a population flowers a lot or a little on average, no conclusions can be drawn from this as to the individual flowering behaviour. We are still unable to piece together the complex interplay of biotic and abiotic factors to draw a complete picture of the regulatory mechanisms in plant populations. In the future, the



use of drones will allow us to generate further information and new knowledge about ecological relationships – in particular about the functioning of complex individual interactions in the realm of flowering plants and their effects on pollinating insects. At the same time, new AI-based evaluation methods are being developed that can map a variety of other plant characteristics and place them in the context of population dynamics so that – based on knowledge – the long-term protection and the development of natural habitats can be implemented.

### Schlagworte:

Blühphänologie, *Calluna vulgaris*, Populationsökologie, intraspezifische Diversität, inter- und intraspezifische Konkurrenz, Musteranalyse, Drohnen, Künstliche Intelligenz

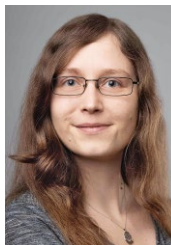
### Literatur

- [1] E. N. Lughadha et al. (2016). Counting counts: revised estimates of numbers of accepted species of flowering plants, seed plants, vascular plants and land plants with a review of other recent estimates. *Phytotaxa* 272, 82–88.
- [2] J. A. Elzinga et al. (2007). Time after time: flowering phenology and biotic interactions. *Trends in Ecology & Evolution* 22, 432–439.
- [3] B. Rathcke, E. P. Lacey (1985). Phenological patterns of terrestrial plants. *Annual review of ecology and systematics* 16, 179–214.
- [4] D. I. Bolnick et al. (2011). Why intraspecific trait variation matters in community ecology. *Trends in ecology & evolution* 26, 183–192.
- [5] D. Scheffler et al. (2017). AROSICS: An automated and robust open-source image co-registration software for multi-sensor satellite data. *Remote Sensing* 9, 676.
- [6] C. Neumann et al. (2019). The colors of heath flowering – quantifying spatial patterns of phenology in *Calluna* life-cycle phases using high-resolution drone imagery. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, <https://doi.org/10.1002/rse2.121>.
- [7] H. Akaike (1973). Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle. in B. Petrov and B. Csake (eds), *Second International Symposium on Information Theory Akademiai Kiado, Budapest*.
- [8] P. Willmer (2011). *Pollination and Floral Ecology*. Princeton University Press, New Jersey.
- [9] J. Schmitt (1983). Density-dependent pollinator foraging, flowering phenology, and temporal pollen dispersal patterns in *Linanthus bicolor*. *Evolution* 37, 1247–1257.
- [10] J. M. Gómez (1993). Phenotypic Selection on Flowering Synchrony in a High Mountain Plant, *Hormathophylla spinosa* (Crucifera). *Journal of Ecology* 81(4), 605–613.
- [11] S. Kehrberger, A. Holzschuh (2019). How does timing of flowering affect competition for pollinators, flower visitation and seed set in an early spring grassland plant?

### Verfasst von:



Carsten Neumann studierte Diplom-Geoökologie an der Universität Potsdam und promovierte im Jahr 2017 über bildgebende Spektroskopie für das Naturschutzmonitoring an der Technischen Universität Berlin. Er ist Wissenschaftler am Geoforschungszentrum Potsdam und beschäftigt sich mit Fernerkundungsmethoden zur Erforschung von Biodiversität. Er entwickelt Verfahren der Künstlichen Intelligenz zur Beschreibung von Arten und Lebensräumen vom Satelliten bis zur Drohne.



Vanessa Ochlast absolvierte 2023 den Master in Ökologie, Evolution und Naturschutz an der Universität Potsdam. Im Rahmen des Projektes NaTec-KRH untersuchte sie in ihrer Masterarbeit die Jahrringstrukturen von *Calluna vulgaris* und war als Mitarbeiterin im Forschungsprojekt NaTec-KRH u. a. für das Drohnenmonitoring zuständig.



Michelle Prauß absolvierte den interdisziplinären Masterstudiengang Sustainable Change am Umwelt-Campus Birkenfeld in Rheinland-Pfalz. Im letzten Jahr seiner Laufzeit leitete sie für die Heinz Sielmann Stiftung das Forschungsprojekt NaTec-KRH in Kooperation mit dem Geoforschungszentrum Potsdam. Aktuell ist sie bei der Heinz Sielmann Stiftung als Referentin für Umweltbildung und Bildung für nachhaltige Entwicklung beschäftigt.

### Korrespondenz

Dr. Carsten Neumann  
Geoforschungszentrum Potsdam GFZ – Sektion 1.4  
Telegrafenberg A17, 01.13  
14473 Potsdam  
E-Mail: carsten.neumann@gfz-potsdam.de

### AUSSTELLUNGSTIPP „DER KRAKE“

Das Landesmuseum Mensch und Natur Oldenburg zeigt bis zum 5. Januar 2025 die Sonderausstellung „Der Krake. Kann man ein Seeungeheuer lieben?“ Als Erzähler weist der Krake, ein mythischer Riesenoktopus, den Weg in eine sagenhafte Unterwasserlandschaft: Ihre faszinierende Schönheit und Rätselhaftigkeit wird durch künstlerisch produzierte Filme zum Leben erweckt. Manchmal berührend, oft lustig oder spannend zeigen sie, wie die Menschen seit jeher versuchen, mit der turbulenten Meeresnatur zu leben. Die Macher/-innen der Filme lieben

sich von alten Erzählungen über Menschen und legendäre Meereswesen aus dem niederländischen, deutschen und dänischen Wattenmeer inspirieren. Diese Geschichten thematisieren Probleme unserer Zeit wie Überfischung, steigende Wasserstände und die Folgen des ungebremsten Wirtschaftswachstums. Die Präsentation richtet sich insbesondere an Erwachsene und Familien mit Kindern ab 10 Jahren und ist in den Sprachen Deutsch, Niederländisch und Englisch erlebbar.



ABB. Christiaan Coenrads „Impossible Dates“, Copyright Productiehuis Spinbarg.

## Gewürz- und Heilpflanzen – Teil 1: Lamiaceen

# Ätherische Öle in Lippenblütlern

SUSANNE BICKEL

*Alle Gewürzpflanzen enthalten ein leicht flüchtiges, niedermolekulares Stoffgemisch, das in ihren unterschiedlichen Organen oft unterschiedlich zusammengesetzt vorliegt. Dieses ätherische Öl ist nicht mit fettem Öl zu verwechseln. Es bestimmt den Duft und Geschmack der Pflanzenteile und damit ihre Eigenschaften als Gewürz für unsere Speisen. Darüber hinaus haben viele Gewürzpflanzen positive Wirkungen auf unsere Gesundheit und manche sogar nachgewiesene Heilwirkungen, gehören also zu den Arzneipflanzen. Aber auch hier gilt der oft zitierte Satz von Theophrast von Hohenheim (Paracelsus, 1493 bis 1541): „Allein die Dosis macht, dass ein Ding kein Gift ist“. Das trifft vor allem auf isolierte und aufkonzentrierte ätherische Öle zu, mit denen man vorsichtig umgehen muss. In den Pflanzen werden sie an besonderen Speicherorten gesammelt und dienen als Abwehrstoffe gegen Schädlinge und Fressfeinde. In dem vorliegenden Artikel soll zunächst einmal geklärt werden, was ätherische Öle sind und wie sie in den Pflanzen synthetisiert werden.*

**I**n der Gewürzkunde wird meist der Begriff „Kräuter“ für alle Pflanzen mit heilkräftigen und würzenden Inhaltsstoffen verwendet. Alle bei uns gebräuchlichen Küchenkräuter sind gleichzeitig auch Heilkräuter mit verschiedenen medizinischen Eigenschaften. Kräuter wurden schon im Altertum verwendet, um Tees oder Salben herzustellen, die Beschwerden lindern sollten. In Pfahlbauten aus der Jungsteinzeit (vor etwa 6000 Jahren) fand man Reste

von Mohn-, Engelwurz- und Kümmelsamen [1]. Die Herkunft von Pflanzenarten in Deutschland lässt sich bis zum Mittelalter, dem Einsetzen von schriftlichen Nachrichten, nur aus Bodenfunden erschließen. Der wohl bedeutendste Kräuterkenner des Altertums war der griechische Arzt und gelehrte PEDANIUS DIOSCORIDES (erstes Jahrhundert. n. Chr.), der im Zuge der Arzneimittellehre seinen „Codex“ verfasste. Der erste von fünf Bänden seines Werkes *De*

Die mit einem grünen Pfeil markierten Begriffe werden im Glossar auf Seite 272 erklärt.

*Materia Medica* enthält etwa 600 exakt beschriebene Pflanzen aus dem kleinasiatischen Raum und aus seiner griechischen Heimat. DIOSCORIDES Methode der Pflanzenbeschreibung wird noch heute verwendet: Name der Pflanze, Synonyme, Herkunft, botanische Eigenschaften, medizinische Wirkung, Ernte, Zubereitung und Anwendung u. a. m. Spätere Kräuterbücher, etwa das von Leonhart Fuchs (*New Kreütterbuch*, 1543, [2]) beruhen weitgehend auf den Beschreibungen von Dioscorides. Heute kennt man etwa 500 Pflanzenarten, deren Verwendung als Heil- bzw. Würzkraut untersucht wurde. Gewürze und Kräuter werden im Deutschen Lebensmittelbuch [3] definiert als „... Pflanzenteile, die wegen ihres Gehaltes an natürlichen Inhaltsstoffen als geschmack- und/oder geruchgebende Zutaten zu Lebensmitteln bestimmt sind“.

Gewürzpflanzen enthalten in allen Teilen ein leicht flüchtiges, niedermolekulares Stoffgemisch, das ätherische (etherische) Öl. Dieses kommt in unterschiedlicher Zusammensetzung in den verschiedenen Pflanzenorganen vor und trägt zu den würzenden, heilenden und duftspendenden Eigenschaften der Pflanze bzw. ihrer Pflanzenorgane bei. Nicht alles, was von unseren Ahnen als Heilkraut überliefert wurde, ist aber auch nachweisbar heilend. Hier unterscheiden wir Heilpflanzen und Arzneipflanzen. Heilpflanzen sind alle, die eine Wirkung haben oder in den Überlieferungen so beschrieben werden. Zu den Arzneipflanzen, die von Apothekern und Pharmaherstellern verwendet werden, gehören Pflanzen, die ausreichende und qualitativ möglichst gleichbleibende Inhaltsstoffe besitzen. Diese werden daher meist unter gleichbleibenden Bedingungen angezogen und ihre Wirksamkeit wurde vorher durch wissenschaftliche Studien oder langzeitliche, gut belegte Erfahrungen nachgewiesen. Wie die Beispiele Baldrian (*Valeriana officinalis*) und Kamille (*Matricaria chamomilla*) zeigen, gehören Arzneipflanzen zwar manchmal, aber nicht immer zu den Gewürzpflanzen.

Nach ihren nutzbaren Organen kann man Kräuter grob in Blatt-, Blüten-, Frucht- und Rinden-(Spross-)Gewürze einteilen. Die in unseren Breiten häufigsten Blattgewürze stammen aus gerade einmal vier verschiedenen Pflanzenfamilien: Apiaceen (► Doldenblütler), Asteraceen (Korbblütler), Lamiaceen (Lippenblütler) und Alliaceen (Zwiebelgewächse). Die in unseren Breiten häufigsten Fruchtgewürze stammen wiederum aus der Familie der Apiaceen. Daneben gibt es einige gebräuchliche Exoten, beispielsweise Vanille (Orchidaceen, Orchideengewächse) und den Pfeffer (Piperaceen, Pfeffergewächse).

Der spezielle Teil des vorliegenden Artikels handelt von den Gewürzpflanzen aus der Familie der Lamiaceen und deren besonderen Eigenschaften, denn zu dieser Familie gehören Spezies, die in allen Pflanzenteilen hohe Konzentrationen an ätherischen Ölen besitzen und deswegen als Aroma-, Heil- und Duftpflanzen ausgewiesen sind. Für die Zukunft angedacht sind weitere Artikel zum Thema Gewürz- und Heilpflanzen.



**ABB. 1** Ast des Ceylon-Zimtbaumes (*Cinnamomum verum*). Die äußere Rinde der Äste ist grau mit weißen Flecken. Links unten: Zweig mit Blättern. Die jungen Blätter sind durch Anthocyane rot gefärbt. Alle Fotos S. Bickel.

### Multifunktionalität der ätherischen Öle

Die wissenschaftliche Bezeichnung „ätherische Öle“ entstand durch die extrem leichte Flüchtigkeit dieser Substanzen; darauf beruht auch die Freisetzung von Duft- und Aromastoffen bereits bei Zimmertemperatur. Das

#### IN KÜRZE

- Die meisten Gewürzkräuter sind aufgrund ihrer ätherischen Öle gleichzeitig auch Heilkräuter mit **verschiedenen medizinischen Eigenschaften**.
- Ätherische Öle sind **sekundäre Pflanzenstoffe** und bestehen immer aus einer Mischung von zahlreichen, niedermolekularen und leicht flüchtigen Stoffen, von denen die meisten zu den **Terpenen und Phenolen** gehören.
- Sie werden in Drüsenschuppen oder Drüsenhaaren in der Pflanze gesammelt und dienen als **Abwehrstoffe** gegen Schädlinge und Fressfeinde, in der **Anlockung** von bestäubenden Insekten und in der **Keim- und Wachstums-hemmung** anderer konkurrierender Pflanzen.
- **Terpene** können über den **Acetat-Mevalonat-Weg** im Cytoplasma der pflanzlichen Zellen synthetisiert werden, aber auch über den „**MEP-Weg**“ bzw. „**DOX-P-Weg**“ in den Chloroplasten.
- Die meisten **phenolischen Bestandteile** der ätherischen Öle stammen aus dem **Shikimisäureweg der Chloroplasten**, bei dem die aromatischen Aminosäuren Phenylalanin, Tyrosin und Tryptophan entstehen.

**TAB 1. KOMMERZIELL GENUTZTE DUFT- UND GEWÜRZPFLANZEN, IHRE ÄTHERISCHEN ÖLE UND DEREN HAUPTBESTANDTEILE (NACH [8], VERÄNDERT)**

Familie	Pflanze	Produkt (Beispiel)	Hauptbestandteil	Stoffklasse
Apiaceae (Doldengewächse)	<i>Carum carvi</i> <i>Pimpinella anisum</i> <i>Foeniculum vulgare</i>	Kümmelöl Anisöl Fenchelöl	D-(+)-Carvon Trans-Anethol Trans-Anethol	Monoterpen Phenylpropanderivat Phenylpropanderivat
Asteraceae (Korbblütler)	<i>Chamomilla recutita</i>	Kamillenöl	$\alpha$ -Bisabolol	Sesquiterpen
Cupressaceae (Zypressengewächse)	<i>Juniperus communis</i>	Wacholderöl	$\alpha$ - u. $\beta$ -Pinen	Monoterpene
Lamiaceae (Lippenblütler)	<i>Rosmarinus officinalis</i> <i>Lavandula angustifolia</i> <i>Mentha x piperita</i>	Rosmarinöl Lavendelöl Minzöl	1,8-Cineol Linalool Menthol	Monoterpen Monoterpen Monoterpen
Lauraceae (Lorbeerengewächse)	<i>Cinnamomum verum</i>	Zimtöl	Zimtaldehyd	Phenylpropanderivat
Myrtaceae (Myrtengewächse)	<i>Syzygium aromaticum</i>	Nelkenöl	Eugenol	Phenylpropanderivat
Pinaceae (Kieferngewächse)	<i>Pinus spec.</i> <i>Picea abies</i> <i>Pinus sylvestris</i>	Terpentinöl Fichtennadelöl Kiefernadelöl	$\alpha$ - u. $\beta$ -Pinen $\alpha$ -Pinen D-3-Caren	Monoterpene Monoterpen Monoterpen
Rosaceae (Rosengewächse)	<i>Rosa damascena</i>	Rosenöl	Geraniol	Monoterpen
Rutaceae (Rautengewächse)	<i>Citrus limon</i>	Zitronenöl	(+)-Limonen	Monoterpen
Zingiberaceae (Ingwergewächse)	<i>Zingiber officinale</i> <i>Curcuma domestica</i>	Ingwertinktur Curcumaextrakt	(-)-Zingiberen Tumeron	Sesquiterpen Sesquiterpen

Spektrum der Komponenten eines ätherischen Öls ist genetisch festgelegt, wobei die Hauptkomponenten typisch für eine Pflanzenfamilie sein können. Außerdem ist das ätherische Öl in vielen Pflanzen organspezifisch ausgeprägt und/oder vom Entwicklungszustand der Pflanze abhängig. Ein eindrucksvolles Beispiel für Organspezifität liefert der echte Zimtbaum (*Cinnamomum verum*, Ceylonzimt, Abbildung 1). Der auf Ceylon (heute Sri Lanka) heimische, duftende Baum aus der Familie der Lorbeer- gewächse enthält in seiner Rinde ein ätherisches Öl mit dem Hauptbestandteil Zimtaldehyd. In den Blättern, die in manchen Gegenden wie Lorbeerblätter verwendet werden, besteht das ätherische Öl zum Hauptanteil aus Eugenol mit Safrol, und in den Wurzelschösslingen, die zur Ölgewinnung verwendet werden können, befindet sich hauptsächlich Kampfer (auch Campher geschrieben) und Linalool [4].

In Kultur werden Zimtbäume klein gehalten, um aus den jungen Stockausschlägen die Rinde gewinnen zu können. Ein bis zwei Jahre alte Triebe werden geschnitten, von Blättern befreit und in Handarbeit entrindet. Nach dem Abschaben der Außenrinde werden die nur 0,3–1,0 mm dicken Innenrinden ineinandergeschoben (Quills) und an der Luft getrocknet. Hierbei rollen sich die dünnen Rinden von beiden Seiten ein und erhalten ihre hellbraune Farbe. Das ätherische Zimtöl wird durch Wasserdampfdestillation aus der Rinde gewonnen [4, 5].

Beispiele für die Abhängigkeit der Zusammensetzung des ätherischen Öls vom Entwicklungszustand der Pflanzen gibt es zahlreich: Blühendes Basilikum z. B. ändert seinen Geschmack; auch die Blätter von Liebstöckel und Kerbel verlieren ihren typischen Geruch und Geschmack, wenn sie blühen. Blühende Zweige von der Zitronenmelisse kann man zum Dekorieren benutzen; die Blüten sind essbar, die Blätter lassen aber im Aroma nach und werden häufig sogar bitter. In allen genannten Fällen liegt die Ursache für die Veränderung des Geschmacks und Geruchs in der veränderten Zusammensetzung des ätherischen Öls der jeweiligen Pflanze.

Ein gut untersuchtes Beispiel für die entwicklungs- spezifische Ausprägung liefert der Kümmel (*Carum carvi*, Apiaceae), dessen Früchte sowohl als Gewürz als auch als Heilmittel genutzt werden. Kümmelfrüchte enthalten 2,5–6 Prozent ätherisches Öl, dessen Hauptbestandteile Carvon und Limonen sind. Daneben gibt es noch ca. 40 weitere Bestandteile, die mehr oder weniger leicht flüchtig sind [6]. Die Zusammensetzung variiert je nach Region bzw. Standort der Pflanzen und je nach Kulturform. Während das ätherische Öl der Blüten aus ca. 80 Prozent Limonen neben zwei Prozent Carvon besteht, dreht sich das Verhältnis bei der Entstehung der Frucht um: Reife Kümmelfrüchte enthalten als Hauptbestandteil des Öls bis zu 60 Prozent Carvon neben nur noch etwa zwei Prozent Limonen [6, 7]. Carvon ist der Hauptwirkstoff in den Kümmelfrüchten, die als Heilmittel und Gewürz verwendet werden.

Mehr zur Variation von Pflanzeninhaltsstoffen finden Sie in unserem Beitrag „Pflanzenvarietäten und Inhaltsstoffe“ in Biuz 4/22, S. 318.

Die physiologische Aufgabe ätherischer Öle (lipophile Stoffgemische sekundärer Pflanzenstoffe) in den Pflanzen liegt häufig in der Abwehr von Fressfeinden, in der Anlockung von bestäubenden Insekten und in der Keim- oder Wachstumshemmung anderer Pflanzen in unmittelbarer Umgebung (▶ Allelopathie). Ätherische Öle aus mehr als zehn Pflanzenfamilien werden kommerziell genutzt, und zwar hauptsächlich als biogene Heilmittel sowie in der Parfümherstellung und Kosmetikindustrie (Tabelle 1) [8]. Als Beispiel sei hier Anethol aus Anis (*Pimpinella anisum*) genannt, ein zu den Phenolen gehörender, leicht flüchtiger Stoff, der auch im ätherischen Öl von Fenchel und Sternanis vorkommt und für den charakteristischen Geruch und Geschmack der Anisfrüchte sorgt. Anethol kommt als Duft- und Aromastoff in Mundpflegemitteln und Seifen zum Einsatz. Darüber hinaus ist es ein wichtiger Aromaträger bei der Herstellung von Spirituosen und Likören (Pernod, Ouzo, Raki, Anisette). Medizinisch wirkt Anethol u. a. antibakteriell, auswurfördernd und schleimlösend und ist daher Bestandteil vieler Hustenmittel (Antitussiva).

### Biosynthese der ätherischen Öle

Die sehr komplexe Zusammensetzung und die extreme Flüchtigkeit einzelner Komponenten haben die Charakterisierung aller Bestandteile eines ätherischen Öls früher unmöglich gemacht. Aber gegen Ende des 19. Jahrhunderts stieg die Zahl der isolierten und charakterisierten Naturstoffe sprunghaft an. Bis Ende der 1930er Jahre waren die wichtigsten Naturstoffklassen gefunden, untersucht und eingeordnet. Viele der flüchtigen Substanzen der ätherischen Öle aus Pflanzen erwiesen sich als Vielfache von Strukturen mit 5 C-Atomen, den sogenannten Isopentenyl- oder Isopreneinheiten, den Grundeinheiten der Terpene (Abbildung 2).

Heute ist man dank moderner Methoden der Analyse (▶ Gaschromatographie, ▶ HPLC, ▶ Massenspektrometrie und ▶ NMR-Spektroskopie) in der Lage, hunderte Komponenten eines Stoffgemisches auf einen Schlag zu analysieren und zu charakterisieren. Trotzdem bleibt eine Schwie-

rigkeit bei der Aufbereitung der Proben bestehen, und zwar die schnelle Veränderung der Stoffe durch Kontakt mit Luftsauerstoff. Sobald ein Pflanzenteil durch Anschneiden oder Zerkleinern verletzt wird, kommt der Inhalt der verletzten Zellen mit dem Sauerstoff aus der Luft zusammen. Stoffe werden dadurch oxidiert und das ätherische Öl verändert sich in seiner Zusammensetzung. Daher wird häufig bei tiefen Temperaturen und unter Stickstoffatmosphäre gearbeitet.

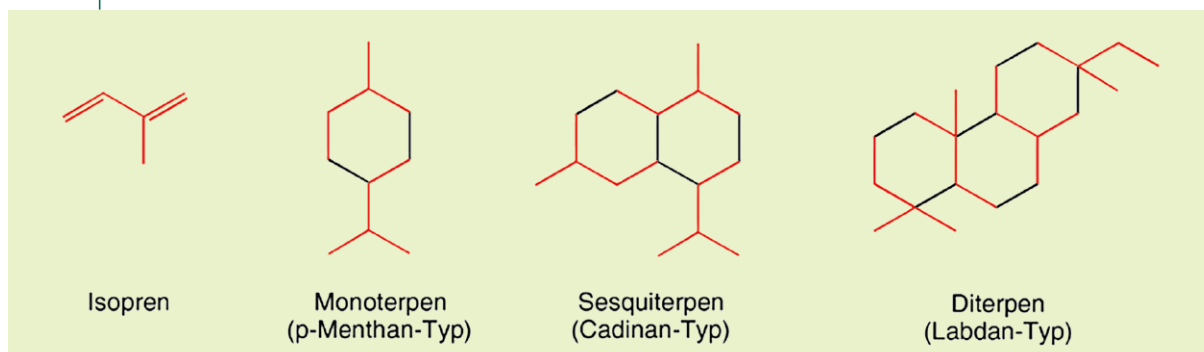
Ätherische Öle bestehen immer aus einer Mischung von zahlreichen niedermolekularen und leicht flüchtigen Stoffen, von denen die meisten zu den Terpenen und Phenolen (synonym Phenylpropanen) gehören. Beide Stoffgruppen werden über verschiedene Stoffwechselwege synthetisiert; allen gemeinsam ist aber die Herkunft aus dem Abbau von Kohlenhydraten im Stoffwechsel der Pflanzen – zum einen aus der Glykolyse und zum anderen aus dem ▶ Pentosephosphatzyklus (s. auch Kästen „DOX-P-Weg“ und „Shikimisäureweg“). Zur Biosynthese von Terpenen sind Pyruvat und Glycerinaldehyd-3-phosphat aus der Glykolyse notwendig, während die Biosynthese der Phenole mit Phosphoenolpyruvat (Glykolyse) und dem Zucker Erythrose-4-Phosphat (Pentosephosphatzyklus) beginnt.

### Biosynthese der Terpene

Je nach Anzahl der beteiligten Isopreneinheiten teilt man die Terpene ein in Mono-, Di- und Sesquiterpene mit 10, 20 bzw. 15 C-Atomen. Längerkettige Terpenoide sind nicht mehr leicht flüchtig, daher als Bestandteil eines ätherischen Öles nicht relevant und sollen deshalb hier nicht betrachtet werden. Wie in Tabelle 1 gezeigt, gehören zu den terpenoiden Bestandteilen ätherischer Öle häufig Monoterpene und in einigen Fällen Sesquiterpene (im Kamillenöl und bei den Ingwergewächsen).

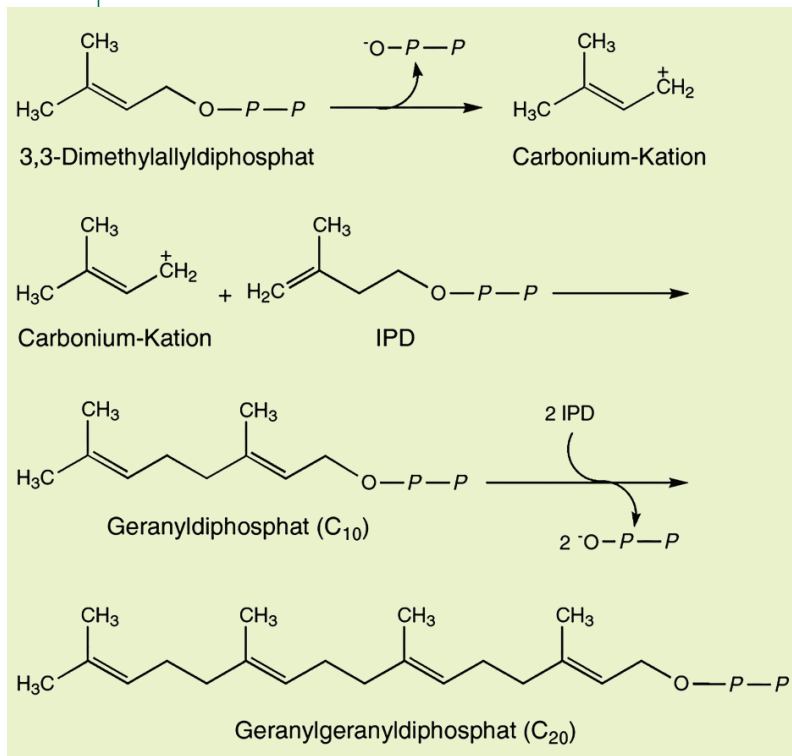
Terpene können über den Acetat-Mevalonat-Weg im Cytoplasma der pflanzlichen Zellen synthetisiert werden. In diesem Fall sind drei Moleküle Acetyl-Coenzym A (Acetyl-CoA) als Starter der Reaktion notwendig. Das Acetyl-CoA (ein Essigsäurerest gebunden an Coenzym A) stammt

**ABB. 2 | STRUKTUREN VON ISOPREN UND AUSGEWÄHLTEN TERPENEN**



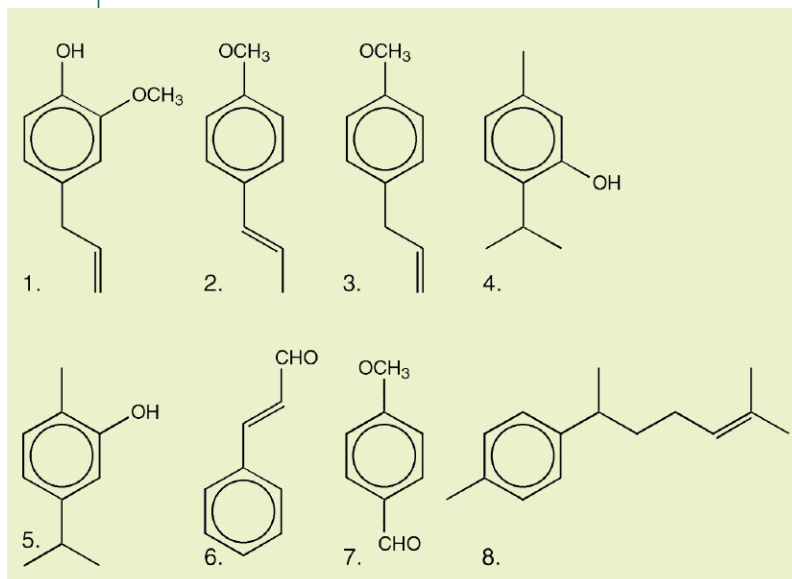
**Isopreneinheiten sind rot eingezeichnet. Im Monoterpen sind zwei Isopreneinheiten miteinander verbunden (10 C-Atome), im Sesquiterpen 3 (15 C-Atome) und im Diterpen 4 (20 C-Atome).** Abb.: Karin Kiefer.

ABB. 3 | BIOSYNTHESE VON ISOPREN



Die Biosynthese beginnt durch Kondensation der beiden Isomere IPD (Isopentenylidiphosphat) und 3,3-Dimethylallyldiphosphat (DMAPP) zu einer C<sub>10</sub>-Verbindung, dem Geranyldiphosphat, dem Grundstoff für die Monoterpene. Addition von weiteren IPD-(alternativ IPP\*)-Molekülen führt dann zu den länger-kettigen Terpenen. Dieser Teil der Terpensynthese findet sowohl in den Chloroplasten als auch im Cytosol der Zellen statt. \*Isopentenylpyrophosphat (IPP) ist der ältere Name für Isopentenylidiphosphat. Abbildung aus [8].

ABB. 4 | AROMATISCHE KOMPONENTEN ÄTHERISCHER ÖLE



1. Eugenol, 2. Anethol, 3. Methylchavicol, 4. Thymol, 5. Carvacrol, 6. Zimtaldehyd, 7. Anisaldehyd, 8. aryl-Curcumen. Abb.: Karin Kiefer.

dabei aus dem Endprodukt der Glykolyse, dem Pyruvat. Die drei Moleküle Acetat werden unter Abspaltung der CoA-Reste zu Mevalonsäure reduziert, welche schließlich unter Verbrauch von ATP zu aktivem Isopren (Isopentenylidiphosphat) umgewandelt wird. Dieser Weg wird der „klassische“ genannt, weil er für lange Zeit als der einzige in Pflanzen zur Verfügung stehende Weg zur Terpensynthese angesehen wurde. Er findet, wie man heute weiß, nicht in den Chloroplasten statt, sondern im Cytosol (Cytoplasma) der Pflanzenzellen und führt unter anderem zu den Sesquiterpenen aus drei Isopreneinheiten (C<sub>15</sub>) und Polyterpenen wie Kautschuk und Guttapercha [9].

Der zweite Syntheseweg wurde in Samenpflanzen erst um die Jahrtausendwende gefunden und in den Folgejahren komplett aufgeklärt. Er beginnt mit der Verknüpfung von Pyruvat und Glycerinaldehyd-3-Phosphat (G3P) zu einem Zucker mit 5 C-Atomen: 1-Desoxy-D-Xylulose-5-Phosphat (DOXP). Nach diesem Zucker wurde der Syntheseweg benannt (oder synonym „MEP-Weg“, nach der nächsten Substanz in der Kette, s. Kasten „DOX-P-Weg“). Dieser Biosyntheseweg findet in den Chloroplasten der Pflanzenzellen statt [9, 10]. Beide Wege führen zum aktiven Isopren, aus dem durch chemische Addition immer längere Terpenketten entstehen können (Abbildung 3). Die in den Gewürzpflanzen relevanten Terpene werden über den DOX-P-Weg in den Chloroplasten der Pflanzen synthetisiert, wie es an zahlreichen Pflanzenbeispielen (u. a. Kamille, Pfefferminze und Thymian) nachgewiesen wurde [10-13].

### Biosynthese der Phenylpropaninderivate

Als „Phenole“ bezeichnet man Substanzen, die einen aromatischen Ring mit einer Hydroxylgruppe enthalten. Die Stammverbindung dieser Substanzklasse ist das Hydroxibenzol (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH). Der Name „Phenole“ leitet sich von „Phen“ ab, einer alten Bezeichnung für Benzol. In den ätherischen Ölen findet man häufig Phenylpropane (Abbildung 4). Diese enthalten anstelle der Hydroxylgruppe eine C<sub>3</sub>-Seitenkette. In der Abbildung sind einige aromatische Komponenten aus ätherischen Ölen dargestellt. Eugenol kommt unter anderem in den Myrtengewächsen Eukalyptus und Nelken vor, Anethol und Anisaldehyd findet man in den Apiaceen vor allem in Anis und Fenchel. Methylchavicol, Thymol und Carvacrol sind Bestandteile des ätherischen Öls von vielen Lamiaceen (Thymian, Majoran, Oregano, Basilikum). Zimtaldehyd finden wir in den Lorbeergewächsen Zimt und Lorbeer und aryl-Curcumen schließlich in den Ingwergewächsen Curcuma und Ingwer.

Auch die verschiedenen Benzaldehyde sind häufig Bestandteile der ätherischen Öle: Benzaldehyd, der einfachste aromatische Aldehyd, ist die Hauptkomponente im Bittermandelöl. Anisaldehyd (Abbildung 5) ist eine bekannte Komponente in den Gewürzen Fenchel und Anis; Vanillin ist Hauptkomponente des ätherischen Öls der Vanille. Vanillin wird in großen Mengen synthetisch oder



halbsynthetisch hergestellt. Zimtaldehyd (Nr. 6 in Abbildung 4) ist der Hauptbestandteil (75 %) des ätherischen Öls der Zimtrinde. Alle hier genannten Aldehyde sind chemisch gesehen Derivate des Benzaldehyds. In den Pflanzen beginnt die Biosynthese des Zimtaldehyds durch Desaminierung der Aminosäure Phenylalanin (s. Kasten „Shikimisäureweg“). Aus Phenylalanin entsteht so Zimtsäure, die dann über mehrere Schritte zum Zimtaldehyd reduziert wird.

Die meisten phenolischen Bestandteile der ätherischen Öle stammen aus einem Stoffwechselweg in den Chloroplasten der Pflanzen, dem so genannten Shikimisäureweg oder Shikimatweg, der nicht nur für die Pflanzen äußerst wichtig ist, sondern auch für Mensch und Tier. Tiere können keine Aromaten synthetisieren, brauchen sie aber für die Synthese ihrer Proteine. Die aromatischen

ABB. 5 | BENZALDEHYD UND SEINE ABKÖMMLINGE

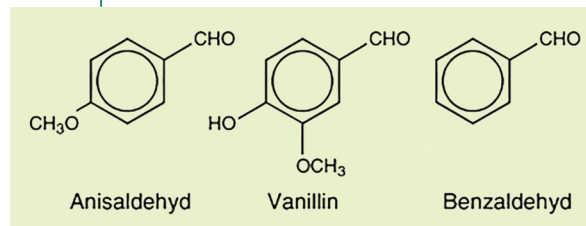


Abb.: Karin Kiefer.

Aminosäuren Phenylalanin, Tyrosin und Tryptophan müssen daher mit der Nahrung aufgenommen werden. Sie entstehen über den Shikimisäureweg in den Chloroplasten der Pflanzenzellen (Kasten „Shikimisäureweg“).

**DOX-P-WEG**

Der DOX-P-Weg (auch MEP-Weg) beginnt mit der Verknüpfung von Pyruvat (Pyr) und Glycerinaldehyd-3-phosphat (G3P), katalysiert von einer Desoxyxylulosephosphat-Synthase (DXS) unter Kohlenstoffdioxidabspaltung, wobei 1-Desoxy-D-xylulose-5-phosphat (DOX-P, DXP) entsteht. DOXP ist ein phosphorylierter Zucker mit 5 C-Atomen und der Namensgeber des Synthesewegs.

Durch Reduktion und Isomerisierung entsteht MEP (2C-Methyl-D-erythritol-4-phosphat). In weiteren Reaktionen unter CTP- und ATP-Verbrauch erfolgen Zyklisierung und Reduktion mit

Hilfe von Ferredoxin: MEP wird durch CTP (Cytidintriphosphat) aktiviert. Dieses geschieht durch die Cytidindiphosphat-Methylerythritol-Synthase (CMS). Es entsteht 4-Phosphocytidyl-2C-Methyl-D-Erythritol (CDP-ME), welches durch ATP und die Cytidyl-Methyl-Kinase (CMK) zu 4-Diphosphocytidyl-2C-Methyl-D-Erythritol-2-P (CDP-MEP) phosphoryliert wird. Nach der Zyklisierung, bei der Cytidinmonophosphat (CMP) abgespalten wird, erfolgt im letzten Schritt unter Beteiligung von Ferredoxin die Umsetzung zu den beiden Isomeren DMAPP und IPP, den Startermolekülen für die Isoprensynthese (s. Abb. 3).

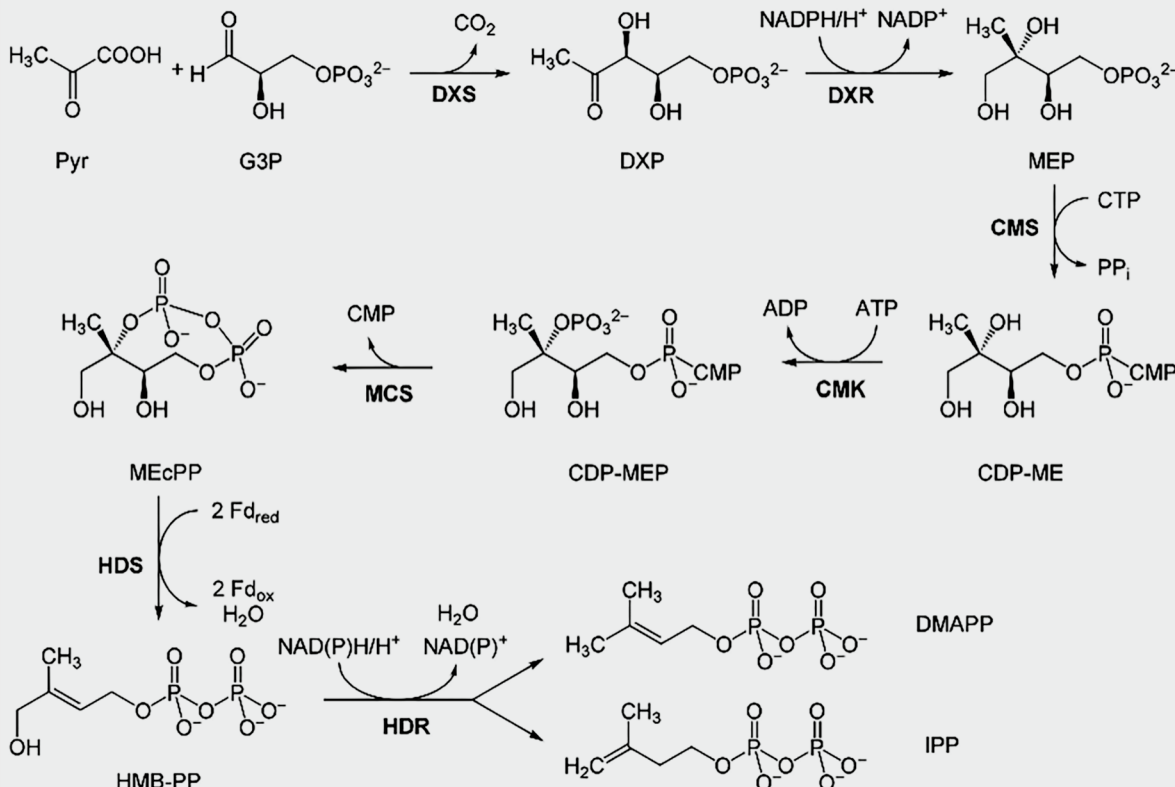
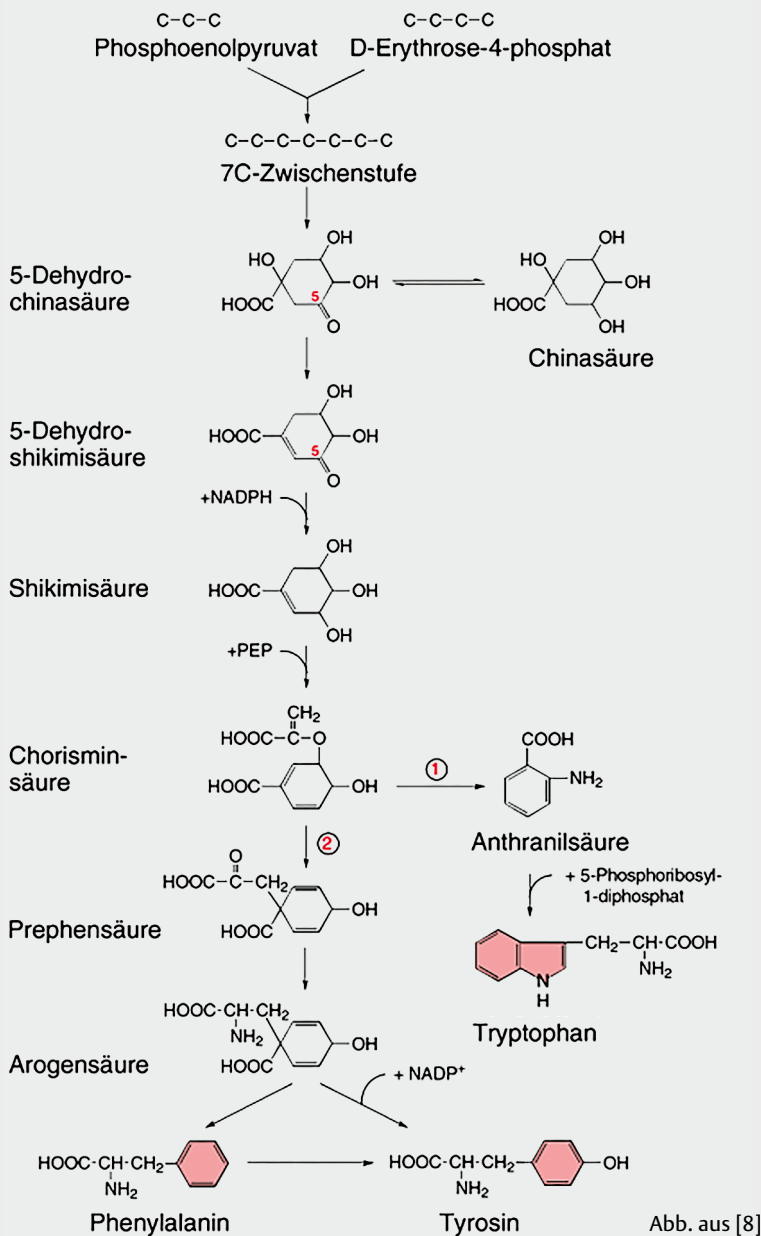


Abb.: Yikrazuul, gemeinfrei über Wikipedia

## SHIKIMISÄUREWEG

Einer der wichtigsten Wege zur Synthese von Aromaten ist der Shikimisäureweg, der in den Chloroplasten der Pflanzen stattfindet. Er beginnt mit einem C4-Baustein (D-Erythrose-4-phosphat), an den ein C3-Baustein (Phosphoenolpyruvat) gebunden wird. Diese C7-Zwischenstufe (s. Abbildung) wird zu 5-Dehydrochinasäure zyklisiert. Diese wird schließlich zu Shikimisäure, an die nach Phosphorylierung ein weiteres Molekül Phosphoenolpyruvat gebunden wird. Die entstandene Chorisminsäure wird zu Prephensäure umgelagert, welche dann zu Arogensäure transaminiert wird und in den Anschluss-Stoffwechselweg zum Phenylalanin bzw. Tyrosin eingeht. Alternativ dazu kann Chorisminsäure zu Anthranilsäure umgewandelt werden, welche mit Phosphoribosyl-1-diphosphat kondensiert und über Indol, welches mit Serin reagiert, schließlich Tryptophan bildet. Aus den Aminosäuren Tyrosin und Phenylalanin entstehen durch Transaminierung Zimtsäurederivate, die dann zu weiteren Aromaten umgebaut werden. Zimtsäure entsteht beispielsweise aus der Aminosäure Phenylalanin. Diese wird desaminiert und unter ATP-Verbrauch zu Cinnamoyl-CoA umgewandelt. Im letzten Schritt erfolgt die Reduktion durch NADPH zu Zimtaldehyd.



## Speicherorte der ätherischen Öle

Ätherische Öle werden vom Ort ihrer Synthese in die jeweiligen Speicherorte in der Pflanze entlassen. Sie können schizogen oder lysigen in dafür vorgesehenen Räumen unterhalb der Cuticula angesammelt oder aber in Drüsenhaaren, Drüsenschuppen oder speziellen Ölbehältern gespeichert werden. Schizogene Ölbehälter entstehen durch Auseinanderweichen von Drüsenzellen. In die so entstehenden Interzellularräume wird das ätherische Öl abgegeben. Beispiele für schizogene Ölbehälter liefern die Früchte der Apiaceen wie Fenchel, Kümmel und Anis (Abbildung 6).

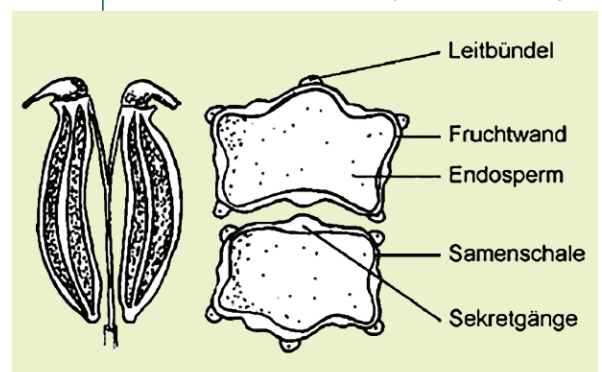
Lysigene Ölbehälter gehen aus mehreren Ölzellen hervor, deren Zellwände sich auflösen (lysiert werden) und so zu einem größeren Sekretbehälter werden. Das Öl bleibt in diesen Hohlräumen zurück. Die kleinen halbtransparenten Pünktchen in der Orangenschale sind solche Ölbehälter. Darüber hinaus gibt es bei zahlreichen Pflanzen Drüsenhaare oder Drüsenschuppen, in denen Exkrete gespeichert werden können. Allen Ölbehältern gemein ist, dass ihre Außenwände für das Öl undurchlässig sind [14]. Das ist wichtig, da es sich zum Teil um sehr aggressive Substanzen handelt, die auch die eigenen Pflanzenzellen schädigen würden.

Die Biosynthese von Menthol in der Minze findet in speziellen Drüsenzellen statt, die sich auf den Blattoberflächen befinden (Abbildung 7). Die im Kreis stehenden Drüsenzellen werden überwölbt von der Cuticula, die sich im Verlauf der Entwicklung der Drüsenschuppe immer mehr abhebt. Der entstehende Subcuticularraum füllt sich mit dem Exkret aus den Drüsenzellen, das über die Zellwände der Öldrüsen abgegeben wird.

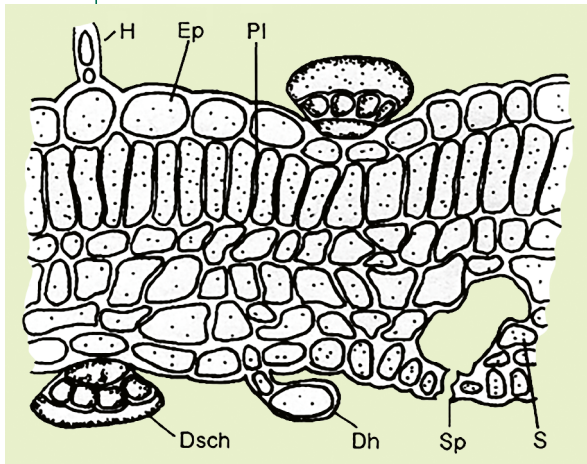
## Lamiaceen als Gewürz- und Heilpflanzen

Die Lippenblütler (Labiatae, Lamiaceae) sind überwiegend krautige Pflanzen, die man an den dekussiert gegenständigen Blättern und dem vierkantigen Stängel leicht identifizieren kann. Die typischen Lippenblüten stehen in den Blattachseln in Scheinquirlen zusammen; sie sind extrem zygomorph: Die Oberlippe besteht aus zwei und

ABB. 6 | FRUCHT DES KÜMMELS (*CARUM CARVI*)



Links: ▶ Doppelachäne am ▶ Karpophor, rechts: Querschnitt mit schizogenen Sekretgängen (Ölgängen). Abb.: Karin Kiefer.

**ABB. 7** | QUERSCHNITT DURCH EIN BLATT DER PFEFFERMINZE


Dh = Drüsenhaar, Dsch = Drüsenschuppe, Ep = Epidermis, H = Haar, PI = Palisadenparenchym, S = Schwammparenchym, Sp = Spaltöffnung. Abb.: Karin Kiefer.

die Unterlippe aus drei miteinander verwachsenen Petalen (Kronblättern). Selbst der Kelch ist manchmal zweilippig.

Alle Lamiaceen besitzen reichlich ätherische Öle, Bitterstoffe und Gerbstoffe. Gespeichert werden die Öle meist an den Blattunterseiten und/oder – etwas weniger – auf den Blattoberseiten in Drüsenhaaren oder mehr oder weniger runden, in Gruben eingesenkten Drüsenköpfchen. Diese bestehen aus bis zu 20 Zellen oder manchmal noch mehr und werden als typische Labiaten-Öldrüsen oder Ölschuppen beschrieben (Abbildung 7) [8, 14, 15]. Viele Lamiaceen sind schon lange als Heilpflanzen bekannt. Zu den meisten in unseren Breiten bekannten Arten gibt es zahlreiche Varianten. Als Beispiel sei der Lavendel angeführt: Es gibt allein sieben Arten im Mittelmeerraum, die alle ein in der Zusammensetzung und im Aroma unterschiedliches ätherisches Öl produzieren. Von der Pfefferminze gibt es bis zu 30 Arten mit zahlreichen Hybriden. In Tabelle 2 sind die jeweiligen geschmacksgebenden Hauptbestandteile der ätherischen Öle einiger Blattgewürze festgehalten.

### Basilikum

Die Heimat des Basilikums (*Ocimum basilicum*) ist wahrscheinlich Indien. In Südeuropa wächst es auch wild; nördlich der Alpen sucht man es vergeblich, da es sehr kälteempfindlich ist. Basilikum ist ein sehr beliebtes Gewürz, wächst als einjähriges Kraut und wird garten- und feldmäßig angebaut. Basilikum besitzt im Vergleich zu anderen Vertretern der Lamiaceen relativ große, glatte und glänzende Blätter, die leicht nach unten gewölbt sind (Abbildung 8). Auf den Blattober- und -unterseiten befinden sich runde, etwas eingesenkte Öldrüsen. Die krautige Pflanze wird etwa 50 cm hoch und verzweigt sich stark. Basilikum ist einjährig; es blüht von Juni bis September mit weißen Lippenblüten (Abbildung 8).

**TAB 2. ÄTHERISCHE ÖLE IN BLÄTTERN DER LAMIACEEN**

Pflanze	% des essbaren Anteils (Blatt)	Hauptbestandteile des ätherischen Öls
Basilikum	0,04 – 0,8	Methylchavicol, Linalool, Eugenol
Bohnenkraut	0,3 – 3,0	Carvacrol, p-Cymen, $\alpha$ -Pinen
Majoran	0,9 – 2,2	Terpinen, Pinen, Sabinen
Melisse	0,05 – 0,33	Citral, Citronellal, Linalool
Minze	1,0 – 3,0	Menthol, Menthon, Terpinen
Oregano	0,2 – 4,0	Carvacrol, Thymol, Linalool,
Rosmarin	1,0 – 2,5	Cineol, Campher, Borneol
Salbei	1,0 – 2,5	Thujon, Borneol, Campher
Thymian	1,0 – 2,5	Thymol, Carvacrol, Borneol
Ysop	0,3 – 0,9	$\beta$ -Pinen, L-Pinocamphen

Hauptbestandteile in absteigender Reihenfolge (nach [8], verändert)

Basilikum kommt häufig gerebelt in den Handel. „Rebeln“ nennt man das Abstreifen der getrockneten Blätter von den Stielen. Die Blätter enthalten 0,04 bis 0,8 Prozent ätherisches Öl, das in der Hauptsache aus Methylchavicol (Abbildung 4) und Linalool besteht. Auch Eugenol (Abbildung 4) und Cineol kommen vor. Außerdem enthält Basilikum reichlich Flavonoide und Gerbstoffe. Basilikum wird als frisches Gewürz zu Salaten und Frischkäsen, getrocknet oder besser – weil schonender – lyophilisiert zu Fleischspeisen und Tomatengerichten verwendet. Basilikum gehört zu den empfindlichsten Gewürzkräutern, die schon beim Trocknen der Blätter Aromaverluste erleiden.



**ABB. 8** Blühendes Basilikum (*Ocimum basilicum*) im Botanischen Garten Düsseldorf. Rechts unten: Blütenstand vergrößert.



**ABB. 9** Rosmarin (*Rosmarinus officinalis*) im Botanischen Garten Düsseldorf; rechtes Bild: blühender Rosmarin im mediterranen Raum (Mallorca), ausdauernder Busch.

(Abbildung 9). An geschützten Standorten kann er aber den einen oder anderen milden Winter überstehen. Als Anpassung an heiße und trockene Standorte besitzt Rosmarin eingerollte, 2 bis 3 cm lange Blätter, die auf der Unterseite behaart sind. Auf der Blattunterseite der nadel-förmigen Blätter befinden sich mehrzellige Öldrüsen auf je einem einzelligen Stiel, diese enthalten das ätherische Öl. Die Pflanze blüht von Ende März bis Mai. Die kleinen, blassblauen Lippenblüten stehen im oberen Teil der Zweige in dichten Scheinquirlen zusammen. Rosmarin ist eine typische Bienenpflanze; sie liefert diesen reichlich Futter in Form von Nektar.

Rosmarinblätter enthalten 1–2,5 Prozent ätherisches Öl, mit den Hauptbestandteilen Cineol (Tabelle 2), Kampfer und Borneol sowie – in unterschiedlicher Menge –  $\alpha$ -Pinen (Abbildung 10) neben weiteren Bestandteilen. Cineol ist dabei für den frischen, an Eukalyptus erinnernden Geschmack verantwortlich und Borneol steht für die scharfe, brennende Komponente. Rosmarin enthält Rosmarinsäure, die beim Menschen als  $\blacktriangleright$  Antioxidans und Entzündungshemmer wirkt; das Vorkommen ist typisch für die Lamiaceen und Boraginaceen (Raubblattgewächse).

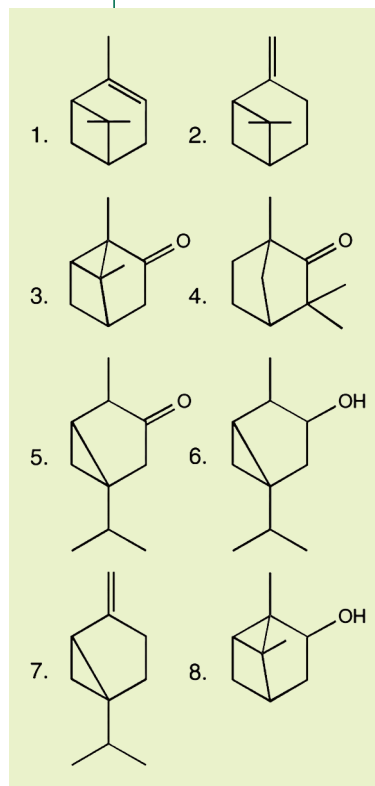
Aus diesem Grund soll man Basilikum erst kurz vor dem Beendigen des Garens zugeben.

Als Heilmittel ist das „Basilienkraut“ heute nicht mehr so gebräuchlich. In der Volksmedizin verwendet man es bei Appetitlosigkeit und als Karminativum bei Blähungen und Völlegefühl. Apotheker M. PAHLOW schreibt in seinem Heilpflanzen-Buch [16] „*Wer kurmäßig Magen und Darm (besonders bei chronischen Blähungen) damit behandeln möchte, der muß täglich 2mal 1 Tasse Tee trinken, nach 8 Tagen Pause von 14 Tagen einlegen, um danach noch einmal 8 Tage lang den Basilienkraut-Tee zu trinken.*“

### Rosmarin

Rosmarin (*Rosmarinus officinalis*) ist ein ausdauernder kleiner  $\blacktriangleright$  Halbstrauch, der im mediterranen Raum heimisch ist. Das Gewürz ist in der italienischen und französischen Küche dominant und nicht wegzudenken. Rosmarin wird dementsprechend in Spanien, Portugal und Frankreich angebaut. An passenden Standorten kann die Pflanze bis zu 2 m Höhe erreichen. In unseren Breiten wird Rosmarin als Topfkultur angeboten, da er nicht winterhart ist

**ABB. 10** BIZYKLISCHE MONOTERPENE



**1.  $\alpha$ -Pinen, 2.  $\beta$ -Pinen, 3. Kampfer, 4. Fenchon, 5. Thujon, 6. Thujol, 7. Sabinen, 8. Borneol. Das bittere Fenchon gehört neben dem oben bereits erwähnten Anethol zu den Hauptbestandteilen im ätherischen Öl des Fenchels.** Abb.: Karin Kiefer.

Rosmarinsäure kommt aber noch in zahlreichen weiteren Pflanzen vor und besitzt eine ganze Reihe interessanter biologischer Aktivitäten [17, 18]. Neben den oben genannten Wirkungen besitzt sie antivirale und antibakterielle Eigenschaften; es wird daher vermutet, dass Rosmarinsäure in den Pflanzen zur Verteidigung gegen Fraßfeinde gebildet wird [18].

Rosmarin wird als Gewürz gerne zu Gemüse gegeben; es eignet sich zu Bratkartoffeln ebenso gut wie zur italienischen Fischsuppe oder zur französischen Ratatouille (Gemüse-suppe). Die medizinische Wirkung des Rosmarins ist seit dem Mittelalter bekannt. Die Pflanze wurde als Mittel gegen die Pest in Säckchen eingenäht um den Hals getragen. Äußerlich angewendet fördert Rosmarinextrakt die Durchblutung und wirkt belebend auf den Kreislauf. Das ätherische Rosmarinöl (*Rosmarini aetheroleum*) regt den Appetit an und fördert die Bildung der Magensaftes. Auch bei Koliken, Rheuma und Gicht wird Rosmarin empfohlen. Rosmarinöl wird äußerlich auch zur Förderung der Wundheilung und zur Schmerztherapie angewendet [4]. Es gibt ihn in Badesalz, als Rosmarinwein, als Tee oder als Rosmarin-Spiritus zum Einreiben.

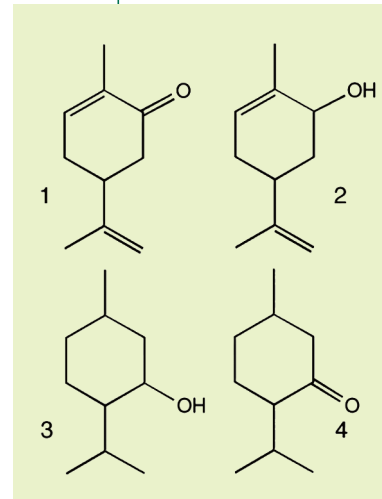


**ABB. 11 Zitronenmelisse (*Melissa officinalis*), blühender Spross.**



**ABB. 12 Pfefferminze (*Mentha x piperita*) im Botanischen Garten Düsseldorf.**

**ABB. 13 MONOZYKLISCHE MONOTERPENE**



**1. Carvon, 2. Carveol, 3. Menthol, 4. Menthon.** Abb.: Karin Kiefer.

So wird Rosmarin-Spiritus hergestellt: 50 g Rosmarinblätter werden mit 250 g 70%igem Alkohol übergossen und 10 Tage lang im geschlossenen Gefäß aufbewahrt. Danach wird die Blattmasse abgepresst und die Flüssigkeit filtriert [4, 16, 19]. Auch die Kosmetikindustrie braucht große Mengen Rosmarinöl für die Parfümherstellung.

### Melisse und Pfefferminze

Melisse (*Melissa officinalis*) wurde schon von den antiken Römern und Griechen als Heil- und Würzmittel verwendet. Die fast herzförmigen, am Rande gesägten Blätter der Melisse (Abbildung 11) duften intensiv nach Zitrone; daher auch der gebräuchliche Name „Zitronenmelisse“. Man muss die Blätter allerdings vor der Blüte ernten, da sie danach ihr Aroma negativ verändern (s. o.). Die 60 bis 100 cm hohen, vierkantigen Sprosse sterben im Winter ab, der Wurzelstock ist aber ausdauernd und treibt im Frühjahr neu aus. Das ätherische Öl der Blätter enthält als Hauptbestandteil Citral, Citronellal und Linalool. Der „Melissengeist“ ist eine Erfindung des Karmeliter-Ordens im 15. Jahrhundert. Ein weiterer Orden, die Benediktiner, brachte das Kraut aus Italien nach Deutschland. So ist die Melisse denn auch Grundstoff vieler Liköre, wie „Benediktiner“, „Abteilkör“ und „Karthäuser“. Melisse wirkt beruhigend und fördert den Gallenfluss. Frische Blätter werden zum Würzen von Salaten genutzt.

Pfefferminze (*Mentha x piperita*) ist ein steriler Bastard aus *Mentha aquatica*, *M. spicata* (Krauseminze) und *M. longifolia*, der im Jahre 1696 zum ersten Mal in England aufgetreten ist und seitdem kultiviert wird [4, 16]. Alle drei oben genannten Wildarten sind – wie der Bastard – auch gute Teepflanzen. Die Pflanze ist ein Flachwurzler mit langen Ausläufern, durch die sie sich vegetativ vermehrt. Man muss sie alle zwei Jahre umpflanzen, damit

sie sich nicht rückkreuzt. Die kräftige bis zu 80 cm hohe Pflanze besitzt vierkantige Stängel, die wenig verzweigt sind. Die gegenständig angeordneten Blätter sind gestielt und eiförmig. An den Spitzen tragen die Sprosse in dichten Scheinwirteln zahlreiche kleine, rosafarbene Blüten, die fast radiärsymmetrisch gebaut sind (Abbildung 12).

Das ätherische Öl der Pfefferminze befindet sich in den Drüschuppen der Blätter (Abbildung 7); es besteht hauptsächlich aus Menthol (bis zu 60%) und Menthon (ca. 20%, Abbildung 13). Das ätherische Öl der Krauseminze (Spearmint) enthält anstelle des Menthols Carvon, den Hauptgeschmacksstoff des Kümmels. Dieses Öl wird bevorzugt für die Herstellung von Kaugummis, Zahnpasten und Arzneimitteln verwendet. Der frische, minzige Geschmacksstoff soll gut sein gegen Mundgeruch.

Destillat aus Pfefferminze (*Menthae Piperitae Aetheroleum*) wird in der Likör- und Bonbonindustrie, aber auch für medizinische und kosmetische Zwecke eingesetzt. Als Gewürz eignet sich die Minze hervorragend zu Fleisch- und Fischgerichten; vor allem in England wird die berühmte Mintsoße zum Lambraten gereicht. In der Volksmedizin gilt der von einem Teelöffel Minzblättern gekochte Pfefferminztee als Heilmittel bei Magen- und Darmbeschwerden, gegen Erbrechen und Blähungen. Das Pfefferminzöl wird als JHP (Japanisches Heilpflanzenöl) zum Inhalieren bei Erkältungskrankheiten empfohlen; außerdem kann man es innerlich anwenden, in dem man 2–3 Tropfen auf Zucker einnimmt und äußerlich durch Einreibungen (bei Muskel- und Nervenschmerzen).

### Majoran, Oregano und Thymian

Majoran (*Origanum majorana*) hat seine Heimat in Kleinasien und ist in unseren Breiten ein wichtiges Gewürzkraut. Es wird in vielen Ländern, darunter Ägypten,

Tunesien, und Frankreich angebaut. Die Pflanze wächst dicht am Boden und wird selten höher als 50 cm. Sie ist stark verästelt und besitzt dünne, vierkantige Stängel, die häufig rötlich überlaufen sind. Die Blättchen sind nur 5 bis 25 mm lang und beidseitig behaart, wodurch sie graufilzig erscheinen. Majoran ist frostempfindlich und wird daher nur in frostfreien mediterranen Gebieten in mehrjähriger Kultur gehalten; jenseits der Alpen wird er einjährig kultiviert. Majoran kommt getrocknet und gerebelt in den Handel.

Das ätherische Öl des Majorans befindet sich hauptsächlich in typischen Öldrüsen der Blätter und besteht aus etwa 40 verschiedenen Aromasubstanzen, von denen die Terpene Terpinen, Pinen und Sabinen (Abbildung 10) überwiegen. Im Altertum würzte man den Wein mit Majoran, und zwar um die Liebeskräfte zu stärken; Majoran war der griechischen Liebesgöttin Aphrodite geweiht. Das Kraut ist in Deutschland ein beliebtes Wurstgewürz, das in Blutwurst und Leberwurst immer enthalten sein sollte. Ansonsten verwendet man es zu fetten Speisen und Kohlgerichten. Majoransalbe (Majoranbutter) wird bei Säuglingen auch gegen Schnupfen verwendet, indem man sie auf und unter der Nase verteilt.

Die Heimat des ausdauernden Busches „Echter Dost“ oder Oregano (*Origanum vulgare*) ist das südliche Mittelmeergebiet. Origanum (Abbildung 14) ist eng verwandt



**ABB. 14** Oregano (*Origanum majorana*) im Botanischen Garten Düsseldorf.

mit Majoran, was sich unter anderem auch an den Hauptbestandteilen seines ätherischen Öls ablesen lässt. Getrockneter Oregano enthält 0,2–4 Prozent ätherisches Öl. Dieses besteht aus den Terpenen Terpinen und Pinen, enthält aber auch Limonen und Linalool neben den Phenolen Carvacrol und Thymol, die dem Dost seinen leicht herben Geschmack geben [5]. Während Majoran weißrosa blüht, besitzen die Blüten des Oreganos eine kräftigere Rotfärbung. Die Blätter an einer Pflanze sind sehr unterschiedlich in der Größe (1 bis 4 cm lang) und werden zur Triebspitze hin immer kleiner. Oregano ist ein beliebtes Gewürz in der italienischen Küche. Es passt zu Tomatensoßen genauso gut wie zu Pizza, Lammfleisch oder Bohnensuppen. Neben dem bei uns gebräuchlichen Origanum gibt es den Kretischen Dost oder Griechendost (*O. heracleoticum*), der rot-violett blüht. Dieser wird medizinisch auch gegen Rheuma und bei Bronchitis eingesetzt.

Thymian (*Thymus vulgaris*) ist ein kleiner Halbstrauch, der etwa 40 cm hoch wird. Seine Blätter sind nur 4 bis 8 mm lang und an den Rändern eingerollt; er blüht mit rosa Lippenblüten. Thymian stammt von den Felsenheiden des Mittelmeergebietes und wird unter anderem in Frankreich, Ungarn, der Türkei, Spanien, Marokko und Griechenland angebaut. Der echte Thymian ist winterhart und wird in unseren Breiten kultiviert. Daneben gibt es den Spanischen Thymian (*Thymus zygis*) und unseren einheimischen Feldthymian oder Quendel (*Thymus serpyllum*). Letzterer kommt auf der gesamten nördlichen Halbkugel vor [15]. Thymian wurde schon von den antiken Griechen und Römern für medizinische und kulinarische Zwecke gebraucht.

Das Thymianaroma wird vor allem durch die 30 bis 70 Prozent Thymol in seinem ätherischen Öl bestimmt. Auch Carvacrol, Borneol, p-Cymol, Linalool und Terpinen wurden gefunden – neben noch mindestens 50 weiteren Komponenten. Thymian wirkt krampflösend und desinfizierend und ist deshalb Bestandteil von Hustentees und Mitteln gegen Bronchitis, aber auch von Magentees. Als Gewürz passt das Kraut zu allen fetten Speisen, zu Bratkartoffeln wie zu Fleisch. Es ist ein wichtiges Wurstgewürz und wird zu Kräuteressig und Likören verwendet. Geschmacklich interessant ist der Zitronenthymian (*Thymus citriodorus*), der durch seinen säuerlich-zitronigen Geschmack auch gut zu Fischgerichten passt.

### Der Kräutergarten

Zum Schluss noch ein kurzer Ausflug in die Gärtnerei: Kräutergärten sind meist kleinere Anlagen in einem größeren Garten. Sie können aus einigen Töpfen und Kästen bestehen oder ein größeres Areal einnehmen – je nach Platz. In Töpfen und Kästen können sie durchaus auch auf der Terrasse oder dem Balkon entstehen. Blühende Gewürzkräuter sind Magneten für zahlreiche Insekten. Das ist heute bei der abnehmenden Artenzahl und Menge an Insekten besonders wichtig. Nicht nur Bienen sind un-



**ABB. 15** Einfassung der Beete mit einer niedrigen Buchsbaumhecke.

verzichtbar, auch andere Insekten und Spinnentiere sind Futter für zahlreiche Vögel, Igel und andere kleine Tiere. Der Artenschwund der Wirbeltiere hängt unmittelbar mit dem Insektenschwund zusammen.

Unsere gebräuchlichen Würz- und Arzneipflanzen bevorzugen sonnenexponierte Standorte – viele sind aus südlichen Ländern zu uns gekommen, wie die Beispiele oben zeigen. Einwanderer wie Salbei, Basilikum, Thymian und Zitronenmelisse wachsen am liebsten an einem sonnigen Plätzchen; vor allem Nachmittags- und Abendsonne ist wichtig [19]. Auch die Bodenbeschaffenheit sollte vor der Bepflanzung geprüft werden: Zu viel Sand bedeutet, dass Wasser und Nährstoffe zu schnell abfließen, während ein zu lehmiger Boden bei Trockenheit rissig aushärtet und dann nur sehr langsam Wasser wieder aufnimmt. Die zarten Pflanzenwurzeln können ihn außerdem schlecht durchdringen.

Die Planung eines Kräuterbeetes sollte gut durchdacht sein; am besten fertigt man eine detaillierte Skizze an. Hohe Pflanzen sollten in den Hintergrund oder in das Zentrum gepflanzt werden. Je nach Anlageform setzt man mehrjährige Stauden an die Ränder und einjährige Kräuter um das Zentrum herum oder bei nicht zentrierten Anlagen in den Vordergrund. Alte Klostersgärten sind oft kreuzförmig angelegt. Den Kreuzungspunkt belegt ein Rondell mit einem zentralen Wasserbecken. Stilgerecht ist eine Einfassung der Beete mit niedrigem Buchsbaum (Abbildung 15), der aber seit einigen Jahren leider vom Buchsbaumzünsler regelrecht aufgefressen wird. Anstelle des Buchsbaums kann man auch Lavendel oder Eberraute (*Artemisia abrotanum*) als Umrandung nutzen. Die Eberraute ist ein uraltes Bauerngarten-Gewächs mit intensivem Duft. Sie ist, verwandt mit dem Beifuß und dem Wermut aus der Familie der Korbblütler. Sie wird heute nicht mehr als Gewürz verwendet, weil sie einen sehr hohen Gehalt an neurotoxischem Thujon besitzt. Umrangungen müssen grundsätzlich kurzgehalten werden, weil sie sonst anderen Pflanzen das Licht nehmen.



**ABB. 16** Anlage einer Kräuterspirale im Freigelände der TU Dortmund.

Wenn man Platz genug hat, lässt sich auch gut eine Kräuterspirale anlegen (Abbildung 16). Mit einer solchen – dem Steingarten abgeschauten – Anlage kann man den meisten Pflanzenansprüchen gerecht werden, vom unteren Feuchtbiotop bis zur oberen sandhaltigen Trockenrasengesellschaft. Am Spiralenanfang wachsen die feuchtigkeitsliebenden Halbschattengewächse wie Kerbel, Petersilie, Schnittlauch, Sauerampfer. Ganz oben sollten die Sonnenkinder wie Oregano, Majoran, Thymian und Lavendel thronen, zwischendrin auf ansteigendem Gelände pflanzt man beispielsweise Zitronenmelisse, Boretsch, Schnittsellerie, Bohnenkraut, Estragon, Ysop u. a. m. Wie man eine Kräuterspirale anlegt, findet man unter anderem hier [19, 20].

### Zusammenfassung

Die in unseren Breiten häufigsten Blattgewürze stammen aus vier Pflanzenfamilien, von denen die Lippenblütler (Lamiaceen) beispielhaft vorgestellt werden. Lippenblütler enthalten hohe Konzentrationen an ätherischen Ölen und sind deshalb bevorzugte Aroma-, Heil- und Duftpflanzen. Ätherische Öle bestehen aus sehr komplex zusammengesetzten, leicht flüchtigen Bestandteilen, die in den Chloroplasten, aber auch im Cytoplasma der Pflanzen über verschiedene Stoffwechselwege synthetisiert und in speziellen Lamiaceen-Drüschuppen oder Drüschhaaren gespeichert werden. Bestandteile, die zur Gruppe der Terpene gehören, werden über den erst im letzten Jahrzehnt des letzten Jahrhunderts gefundenen und aufgeklärten MEP-Weg (Methylerythritolphosphatweg) synthetisiert, während phenolische Bestandteile über den Shikimisäureweg synthetisiert werden, aus dem auch die für uns essenziellen aromatischen Aminosäuren Tyrosin, Phenylalanin und Tryptophan stammen. Die bekanntesten kommerziell genutzten Lamiaceen-Öle sind Rosmarinöl, Lavendelöl und Minzöl, deren Hauptbestandteile jeweils zu der Stoffklasse der Monoterpene gehören. Rosmarinöl enthält zusätzlich Rosmarinsäure, die beim Menschen als Antioxidans und Entzündungshemmer wirkt.

zungshemmer wirkt. Minzöle werden sowohl in der Likör-, Bonbon- und Kosmetikindustrie als auch in der Volksmedizin eingesetzt (Japanisches Heilpflanzenöl) – beispielsweise zum Inhalieren bei Erkältungskrankheiten. Für Tees, die häufig bei Verdauungsbeschwerden angewendet werden, eignen sich die Blätter von Melisse, Minze und Thymian. Rosmarin, Majoran, Oregano und Thymian stammen aus dem Mittelmeerraum und bevorzugen daher im Kräutergarten sonnige Standorte.

## Summary

### Essential oils in Lamiaceae

The most common leaf spices in our latitudes belong to four plant families, of which the Lamiaceae or Labiatae (commonly known as the mint family) are presented exemplarily. Lamiaceae contain high concentrations of essential oils and are therefore favoured aromatic, medicinal and fragrant plants. Essential oils consist of very complex, highly volatile components that are produced in the chloroplasts, but also

## GLOSSAR

**Allelopathie:** Wechselwirkung einer Pflanze mit anderen Pflanzen der gleichen oder anderer Arten, die zu positiven oder negativen Effekten für die Nachbarpflanzen führen. Ausschlaggebend ist die Abgabe bestimmter Signalmoleküle an die Umgebung, die das Heranwachsen anderer Pflanzen fördern oder behindern.

**Antioxidans:** Abkürzung von Antioxidationsmittel; Antioxidantien inaktivieren im Organismus reaktive Sauerstoffspezies und verhindern damit oxidativen Stress und Zellschäden. Antioxidantien als „Radikalfänger“ sind heute allgegenwärtige Schlagworte, vor allem im Zusammenhang mit Ernährung und Sport. Man sollte aber nicht vergessen, dass jedes Ding zwei Seiten hat, was vor allem auf Redoxreaktionen im Körper zutrifft. Die Aufnahme von Antioxidantien als Nahrungssupplementierung ist für gesunde Menschen nicht ratsam, da diese nicht gesundheitsfördernd sind. Es spricht aber nichts gegen die Verwendung von Kräutern, die Antioxidantien enthalten, denn dabei kommt es auf die Zusammensetzung mit anderen Stoffen und die Konzentration an.

**dekussiert:** bedeutet kreuzgegenständig; an den Knoten der Sprossachse stehen bei zweigliedrigen Wirteln die aufeinanderfolgenden Blattpaare jeweils um 90 Grad versetzt übereinander; so beschatten sie sich nicht gegenseitig.

**Dolde:** Blütenstand, bei dem die gestielten Einzelblüten aus einer stark gestauchten Region der Sprossachse wie aus einem einzigen Knoten entspringen. Eine Doppeldolde ist eine zusammengesetzte Infloreszenz, bei der die Position der Einzelblüten von Teilblütenständen eingenommen wird.

**Doppelachäne:** Die Achäne ist eine Sonderform der Nussfrucht bei unterständigem Fruchtknoten, bei der Samen- und Fruchtschale zu einer harten, nicht mehr voneinander trennbaren Hülle verwachsen sind. Achänen werden aus zwei Fruchtblättern gebildet und kommen bei Korbblütlern (Asteraceen) und Doldenblütlern (Apiaceen) vor. Die Doppelachäne der Apiaceen besteht aus zwei Fruchtblättern, die anders als bei den Asteraeen bei der Reife in zwei einsamige Früchte zerfallen.

**Gaschromatographie:** Adsorptions- und Verteilungschromatographie; ein Trennverfahren für Stoffgemische, die gasförmig oder ohne sich zu zersetzen verdampfbar sind. In einer Trennsäule befindet sich die stationäre Phase; als mobile Phase fungiert ein inertes Gas (Helium, Stickstoff, Wasserstoff). Die Trennsäule befindet sich in einem temperierbaren Ofen. Das Trägergas transportiert die zu trennende Probe durch die Säule, wobei jede Komponente des Gemischs unterschiedlich lange an der stationären Phase hängen bleibt. Die Verweildauer ist dabei abhängig von der Polarität und dem Dampfdruck der Komponenten. Im einfachsten Fall erfolgt die Trennung nur aufgrund der unterschiedlichen Siedepunkte der Komponenten. Ein Detektor misst den Austritt der Substanzen aus der Säule,

wobei das Ergebnis i. d. R. gleich mittels eines Schreibers grafisch dargestellt wird. Die Bestimmung der Substanzen aus der Probe erfolgt durch Vergleiche mit Standardsubstanzen wie bei jeder Chromatographie.

**Halbstrauch:** Pflanzen, die eine Zwischenstellung zwischen Gehölzen und krautigen Pflanzen einnehmen. Die oberen, jungen Triebe sind krautig, die unteren alten Triebe verholzt.

**HPLC:** Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (high performance liquid chromatography) ist ein chromatographisches Trennverfahren über eine Säule mit einem flüssigen Laufmittel über eine stationäre Feststoffphase (z. B. Kieselgel), wobei die flüssige Probe unter Druck durch die Feststoffphase gepumpt wird. Anders als bei der Gaschromatographie können mit der HPLC-Methode auch nichtflüchtige Proben getrennt, identifiziert und quantifiziert werden. Das Trennvermögen mittels HPLC ist etwa 100-mal größer als das einer üblichen Säulenchromatografie.

**Karpophor:** stielartiger Fruchträger, der sich aus einem Meristem am Grunde des Fruchtknotens entwickelt.

**Massenspektrometrie:** Analyseverfahren zur Bestimmung chemischer Elemente oder Verbindungen mit Hilfe der Häufigkeit von geladenen Teilchen (Ionen). Bei bekannter Ladung kann damit die Masse der vorhandenen Teilchen (z. B. in einem Gemisch) ermittelt werden. Die zu analysierende Probe wird chemisch oder in einem elektrischen Feld ionisiert; im Massen-selektor werden die Ionen nach ihrem Masse-zu-Ladung-Verhältnis getrennt. Mit dieser Methode können kleinste Mengen einer unbekannt Substanz erkannt und quantifiziert werden.

**NMR-Spektroskopie:** Kernspinresonanzspektroskopie (nuclear magnetic resonance spectroscopy); anwendbar auf Atomkerne mit magnetischem Moment, die einen Kernspin besitzen. Magnetisch aktive Atomkerne einer Probe können mit einem angelegten elektromagnetischen Feld wechselwirken. Voraussetzung für die Kernresonanz ist der Kernspin, der  $\neq 0$  sein muss. Das ist der Fall bei ungeraden Massenzahlen, beispielsweise bei  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{31}\text{P}$ . Der Teil des angelegten elektromagnetischen Feldes, der mit der Spinbewegung der Atomkerne (Spinpräzession) übereinstimmt (= Resonanz), erzwingt eine phasengleiche „Bündelung“ der Spins. Die resultierende Spannung wird als NMR-Signal gemessen. Die NMR-Spektroskopie ist eine sehr wichtige Methode zur Strukturaufklärung organischer Verbindungen.

**Pentosephosphatzyklus:** (Pentosephosphatweg) ist ein Stoffwechselweg, der im Cytosol der Zellen stattfindet und der Gewinnung von Reduktionsäquivalenten (NADH, NADPH) sowie der Bereitstellung von Pentosen (Zucker mit 5 C-Atomen) wie z. B. Ribose-5-phosphat dient. Diese sind Vorstufen wichtiger Biomoleküle (CoA, ATP, Nucleinsäuren u. a. m.).



in the cytoplasm of plants via different metabolic pathways and are stored in special glandular scales or glandular trichomes. Components that belong to the group of terpenes are synthesized via the MEP pathway (methylerythritol phosphate pathway), which was only discovered and elucidated in the last decade of the last century. Phenolic components, however, are synthesized via the shikimic acid pathway, from which the aromatic amino acids tyrosine, phenylalanine, and tryptophan, which are essential for us, are also derived. The best-known commercially used Lamiaceae oils are rosemary oil, lavender oil, and peppermint oil, the main components of which belong to the monoterpene class of substances in each case. Rosemary oil also contains rosmarinic acid, which acts as an antioxidant and anti-inflammatory compound in humans. Peppermint oils are used in the liqueur, candy, and cosmetics industries as well as in folk medicine (Japanese Medicinal Plant Oil) – for instance for inhalation in the event of a cold. As a treatment against digestive ailments, the leaves of lemon balm, mint and thyme are frequently used in teas. Rosemary, marjoram, oregano, and thyme are from the Mediterranean region and therefore prefer sunny locations in the herb garden.

### Schlagworte

Arzneipflanze, Acetat-Mevalonat-Weg, ätherische Öle, DOX-P-Weg oder MEP-Weg, Drüsenschuppen, Drüsenhaare, Gewürzpflanze, Heilpflanze, Lamiaceen, Phenylpropanderivate, Shikimisäureweg, sekundäre Pflanzenstoffe, Terpene

### Literatur

- [1] U. Körber-Grohne (1995). Nutzpflanzen in Deutschland von der Vorgeschichte bis heute. Konrad Theiss Verlag GmbH, Stuttgart.
- [2] L. Fuchs (1543). New Kreütterbuch, Basel, Neudruck 1964, München, Faksimile, H. Marzell, Leipzig.
- [3] B. Rehlender (2022). Leitsätze 2022: Deutsches Lebensmittelbuch – Erarbeitet und beschlossen von der Deutschen Lebensmittelbuch-Kommission beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.
- [4] E. Teuscher et al. (2020). Biogene Arzneimittel, Lehrbuch der Pharmazeutischen Biologie. 8. Aufl., wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart.
- [5] F. Siewek (1990). Exotische Gewürze, Birkhäuser Verlag, Basel.
- [6] S. O. Solberg et al. (2016). Caraway essential oil composition and morphology: The role of location and genotype, *Biochemical Systematics and Ecology*, Vol. 66, 351–357.
- [7] R. Chizzola (2014). Composition of the essential oil of wild grown caraway in meadows of the Vienna region (Austria), *NPC* Vol. 9, 581–582.
- [8] S. Bickel-Sandkötter (2001). Nutzpflanzen und ihre Inhaltsstoffe, Quelle & Meyer, Wiebelsheim.
- [9] H. K. Lichtenthaler (1989). The Plants 1-Deoxy-D-Xylulose-5-Phosphate Pathway for Biosynthesis of Isoprenoids, *Fett/Lipid* 100 Nr. 4–5, 128–138.
- [10] H. K. Lichtenthaler (1999). The 1-Deoxy-D-Xylulose-5-Phosphate Pathway of Isoprenoid Biosynthesis in Plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50, 47–65.
- [11] K. P. Adam, J. Zapp (1998). Biosynthesis of the isoprene units of chamomile sesquiterpenes. *Phytochemistry* 48, 653–659.
- [12] W. Eisenreich et al. (1997). Monoterpenoid essential oils are not of mevalonate origin. *Tetrahedron Letters* 38, 3889–3892.
- [13] B. M. Lange, R. Croteau (1999). Genetic engineering of Essential Oil Production in mint. *Current Opinion in Plant Biology* 2, 139–144.
- [14] B. Lube-Diedrich (2023). *Arzneipflanzen, Arzneidrogen, Botanik, Eigenschaften, Anwendung*. 4. Aufl. Govi (Imprint) in der Avoxa Mediengruppe Deutscher Apotheker GmbH, Eschborn.
- [15] D. Frohne, U. Jensen (1998). *Systematik des Pflanzenreichs: Unter besonderer Berücksichtigung chemischer Merkmale und pflanzlicher Drogen*, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- [16] M. Pahlow (1993). *Das große Buch der Heilpflanzen, Gräfe und Unzer Verlag GmbH, München*.
- [17] Y. Y. Gao et al. (2015). Über Rosmarin und Rosmarinsäure – Mittel gegen die Pest und mediterranes Gewürz. *Chem. Unserer Zeit* 49, 302–311.
- [18] M. Petersen, M. S. J. Simmonds (2003). Rosmarinic acid, *Phytochemistry* 62, 121–125.
- [19] M.-L. Kreuter (2009). *Kräuter & Gewürze aus dem eigenen Garten*, BLV Buchverlag GmbH & Co. KG, München.
- [20] J. Mayer (2010) *Kräutergarten*, Franckh-Kosmos Verlags GmbH & Co. KG, Stuttgart.

### Verfasst von:



Susanne Bickel studierte Biologie und Chemie an der Universität Hannover. Für ihre Dissertation in der Photosynthese-Forschung an der Tierärztlichen Hochschule Hannover erhielt sie 1981 den Heinz-Maier-Leibnitz-Preis. 1983 wechselte sie in das Institut für Biochemie der Pflanzen an die Universität Düsseldorf und wurde dort 1989 habilitiert; sie besitzt die Lehrbefugnis für das Fach Botanik. Frau Bickel war seit 1996 außerplanmäßige Professorin an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf in der Biochemie der Pflanzen und in der Fachdidaktik der Biologie. Seit 2015 ist Frau Bickel im Ruhestand. Sie war zwölf Jahre lang Vorsitzende des Landesverbands NRW im VBIO und vier Jahre lang Sprecherin der Landesverbände im Präsidium des VBIO. Ende 2019 hat sie den Vorsitz abgegeben, war seitdem im Beirat des Landesverbandes NRW und ist seit November 2023 wieder stellvertretende Vorsitzende.

### Korrespondenz

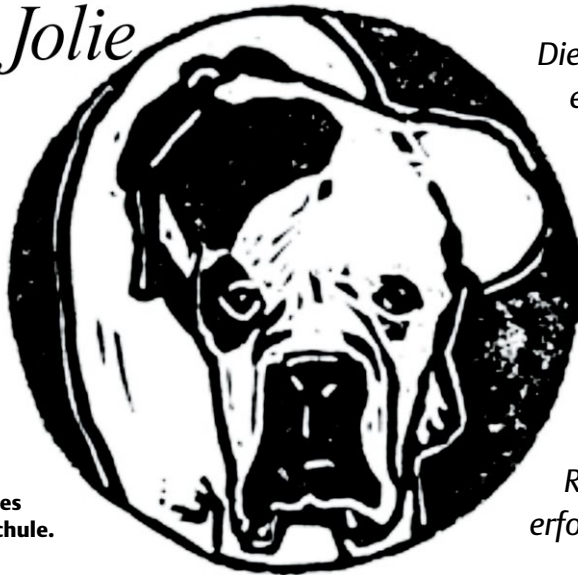
Prof. Dr. Susanne Bickel  
Eichenwand 5  
40627 Düsseldorf  
E-Mail: [bickel@uni-duesseldorf.de](mailto:bickel@uni-duesseldorf.de)

## Wissenschaftliches Arbeiten mit dem Schulhund in der Verhaltensbiologie

# Ein Co-Pädagoge auf vier Pfoten

MARTINA GERBIG-GROSS | GREGOR SCHROTH

*Jolie*



Logo des Schulhundes der Ricarda-Huch-Schule. Abb.: Stephan Preuß.

*Schulhündin*

*Die Auswirkungen der Corona-Pandemie haben einmal mehr gezeigt, dass Schulhunde wertvolle Co-Pädagogen für die Lernenden sein können: Sie sorgen für eine angenehme Lern- und Arbeitsatmosphäre, in der motiviert und angstfrei gelernt werden kann. Doch wie kann der Schulhund sinnvoll in ein wissenschaftliches Arbeiten im Unterricht eingebunden werden? Und welche Möglichkeiten gibt es, die Kognitionsleistungen des Hundes im Rahmen der Ethologie im Unterricht näher zu erforschen?*

*Die mit einem grünen Pfeil markierten Begriffe werden im Glossar auf Seite 281 erklärt.*

Hunde haben einen psychosozialen Nutzen für Menschen und im besonderen Maße für Kinder. Dies macht sie zu einem wertvollen Helfer bei unterschiedlichen pädagogischen Belangen, was durch die Auswirkungen der Corona-Pandemie noch stärker an Bedeutung gewonnen hat (Abbildungen 1 und 2). Als Pionier der Entwicklung der tiergestützten Therapie gilt der amerikanische Kinderpsychologe B. M. Levinson, der bereits Ende der 1960er Jahre eher zufällig entdeckte, dass sein Hund Jingles in der Therapie eines zu behandelnden kontaktgestörten Kindes große Wirkung erzielte. Levinson setzte daraufhin Jingles gezielt in der Kommunikation mit Kindern ein, die zuvor mit Levinson nicht gesprochen hatten. Der Hund fungierte in der Therapie als „Eisbrecher“ und „Brückenbauer“ [1].

Bereits zu Beginn der 1990er Jahre nahmen vereinzelt Lehrkräfte ihren Hund mit in den Unterricht. Meist war die Anwesenheit eines Hundes jedoch weder geplant noch verfolgte der Einsatz ein konkretes pädagogisches Ziel. Das ist beim heutigen Einsatz von ► Schulhunden, wie er auch an der Ricarda-Huch-Schule in

Dreieich-Sprendlingen praktiziert wird, vor dem Hintergrund wachsender Akzeptanz und Professionalisierung tiergestützter Interventionen anders [1]. Beim Einsatz der Schulhunde an der Ricarda-Huch-Schule handelt es sich nach der Definition der IAHAIO (*International Association Human-Animal Interaction*) für tiergestützte Interventionen um eine tiergestützte Pädagogik, da der Einsatz der Hunde eine zielgerichtete, geplante und strukturierte Intervention ist. Sie wird von mir als Lehrerin der Schule durchgeführt, da ich eine Ausbildung zum Führen eines Schulhundes absolviert habe. Die Hunde Jolie, Tamino und Tesseo sind klassische Schulhunde (Präsenzhunde, Abbildung 3), die regelmäßig eine gewisse Zeit im Klassenraum und im Unterricht verbringen.

### Voraussetzungen für den Einsatz von Schulhunden

Aus den Definitionen für tiergestützte Interventionen der IAHAIO ergeben sich verschiedene Voraussetzungen für einen sicheren Einsatz der Schulhunde.

**Organisatorisches:** Die Ausbildung von Hund und Mensch erfolgt immer im Team und die Hunde leben artgerecht im eigenen Haushalt. Halbjährlich liegt ein Gesundheitsattest des betreuenden Tierarztes – in unserem Fall ist dies Dr. med. vet. Gregor Schroth – vor. Vor dem ersten Einsatz in der Schule wurde ein Hygieneplan erstellt, und der Schulhund ist bei der Haftpflichtversicherung gemeldet worden. Um die Hunde beim Einsatz in der Schule nicht zu überfordern und damit ihre Gesundheit zu gefährden, legen wir an unserer Schule größten Wert auf die sehr gute und vertrauensvolle Zusammenarbeit mit dem betreuenden Tierarzt, da er die Hunde und ihre Krankengeschichte am besten kennt. Neben den veterinärmedizinischen Untersuchungen ist im Falle der Ricarda-Huch-Schule Herr Dr. Schroth zusätzlich in die Konzeption und in die fachliche und wissenschaftliche Beratung und Begleitung des Schulhund-Projektes eingebunden.

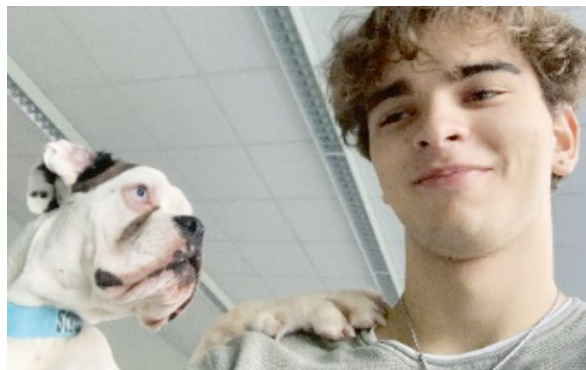
**Während des Einsatzes:** Der Einsatz der Schulhunde muss sowohl auf die Bedürfnisse des Hundes als auch auf die Bedingungen in der Klasse individuell angepasst werden. Dabei agieren die Lehrkraft und der Hund immer im Team. Bevor die Hunde am Unterricht teilnehmen, werden Regeln und Rituale für Schüler/-innen und Hund etabliert.

### Ein Pädagoge mit Fell: Was Hunde in Erziehung und Bildung an unserer Schule leisten

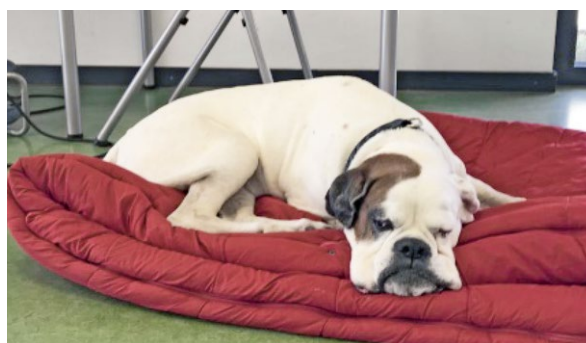
An unserer Schule können wir überwiegend positiv über den Einsatz der Schulhunde berichten. Die meisten Schüler/-innen zeigen durch den Kontakt zu den Hunden und im Speziellen zu den Junghunden eine gesteigerte Empathie sowohl in der Klassengemeinschaft als auch den Hunden gegenüber. Gerade Schüler/-innen, die nicht so gut in die Klasse integriert sind, werden durch die reine Anwesenheit der Hunde besser eingebunden. Wir konnten in allen Jahrgangsstufen, in denen die Hunde anwesend waren, ein verbessertes Klassenklima feststellen, und die Lernenden zeigten eine gesteigerte Aufmerk-



**ABB. 1** Während der Corona-Pandemie sorgen die Welpen Tamino und Tesseo für eine angenehmes Miteinander. Alle Fotos M. Gerbig-Groß.



**ABB. 2** Hunde als Mutmacher und Stimmungsaufheller.

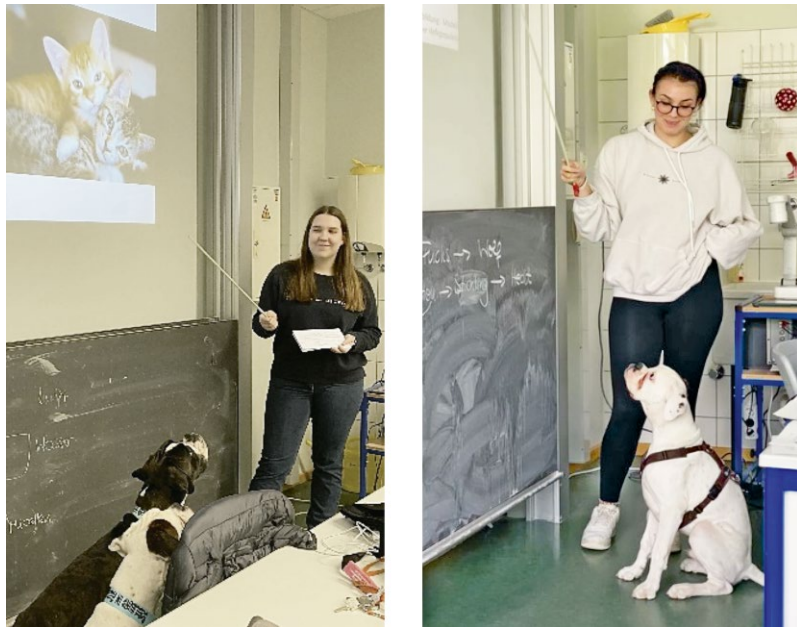


**ABB. 3** Jolie als Präsenzhund während des Unterrichts.

## IN KÜRZE

- Die Corona-Pandemie und die dadurch bedingte lange Phase des Home-schoolings haben noch einmal verstärkt gezeigt, welche wertvollen Dienste ein **Schulhund zur Förderung einer angenehmen Lern- und Arbeitsatmosphäre** beitragen kann.
- Die Schulhunde Jolie, Tamino und Tesseo der Ricarda-Huch-Schule in Dreieich-Sprendlingen sind nicht nur reine Präsenzhunde, sondern werden in das **wissenschaftliche Arbeiten im NaWi-Unterricht der Klasse 10 sowie im Grund- und Leistungskurs Biologie** eingesetzt.
- Die Schüler/-innen entwickeln **im Fachbereich Ethologie** Experimente, um zu überprüfen, wie sich der Hund an das Leben mit den Menschen angepasst hat.
- Dabei **lernen die Schüler/-innen den Hund und seine Bedürfnisse näher kennen**, was zu einem empathischen und wertschätzenden Umgang mit diesem erzieht.
- Durch die Arbeit mit den Schulhunden lernen die Schüler/-innen, welche Fähigkeiten der Hund in einem ca. 40.000 Jahre dauernden **Domestikationsprozess** gelernt hat.
- Experimentell erforschen die Lernenden zusammen mit den Schulhunden die **Mensch-Hund-Kommunikation**.
- Durch den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn bei der Konzeption der eigenen Experimente zu den **Kognitionsleistungen der Hunde** können die Lernenden Sinn und Zweck von Studien in der Wissenschaft nachvollziehen.

samkeit und Motivation im Unterricht. Gerade, wenn die Hunde bei einer Leistungsüberprüfung ruhig auf ihrem Platz liegen, ist zu erkennen, wie sich der Stress bei den Lernenden abbaut (Abbildung 4).



**ABB. 4** Auch beim Halten einer Präsentation sorgen die Schulhunde für eine entspannte Atmosphäre.



**ABB. 5** Übungen mit den Junghunden Tamino und Tesseo zum Erlernen des Kommunikationsverhaltens von Mensch und Hund.

Jedoch werden die Schulhunde an der Ricarda-Huch-Schule nicht als reine Präsenzhunde eingesetzt, sondern sie werden aktiv in den Unterricht und in das forschende Arbeiten in einer fünften Klasse beim Thema „Hund“, einem Wahlpflichtkurs Naturwissenschaften (NaWi) Klasse 10 beim Projekt „Erforschung der Kognitionsleistungen des Hundes“ und im Biologiegrund- und -leistungskurs im Bereich der Ethologie eingesetzt (Abbildung 5). Im Folgenden werden beispielhaft Ausschnitte aus der Unterrichtspraxis im Leistungskurs Biologie und im NaWi-Kurs Klasse 10 dargestellt.

### Ein Blick in die Unterrichtspraxis

Die Erforschung der kognitiven Fähigkeiten des Hundes im Rahmen des Biologieunterrichts in der Schule gemeinsam mit einem Schulhund spielt in der namhaften Literatur kaum eine Rolle. Das Konzept dieses Unterrichtsvorhabens wurde eigenständig von uns, Martina Gerbig-Groß, Lehrerin an der Ricarda-Huch-Schule in Dreieich-Sprendlingen, und Dr. med. vet. Gregor Schroth, niedergelassener Tierarzt in Biebesheim, entwickelt. Bei diesem Unterrichtsvorhaben diente die folgende Fragestellung als Leitlinie: *„Wie kann durch die Entwicklung von ethologischen Experimenten zu den Kognitionsleistungen der Schulhunde Jolie, Tamino und Tesseo das wissenschaftliche Denken und Arbeiten nachhaltig gefördert und dabei gleichzeitig die Einzigartigkeit der Tiere begreifbar gemacht werden?“*

### Unterrichtsprojekt 1: Die ▶ Domestikation des Hundes: Wie konnte der Hund zum ersten und besten Freund des Menschen werden, obwohl sie ursprünglich in ihrer Entwicklungsgeschichte Konkurrenten waren?

Der Domestikationsprozess der Hunde erfolgte vor etwa 40.000 Jahren. Das Ergebnis dieser langen Co-Evolution von Mensch und Hund ist ein einzigartiges Verstehen beider Arten.

*Umsetzung im Unterricht:* Die Lernenden beschäftigen sich mit Hilfe von Experimenten damit, wie viel Wolf in den Hunden Jolie, Tamino und Tesseo steckt. Hunde haben sich in ihren Eigenschaften und Verhaltensweisen stark dem Menschen angepasst. Um das Zusammenleben mit dem Menschen zu verbessern und sich verständlich zu machen, entwickelten Hunde z. B. eine erstaunlich differenzierte Lautsprache [3, 6].

#### Übung mit dem Schulhund: „Sitz!“

Im Laufe der Domestikation haben die Hunde zwar bestimmte Fähigkeiten verloren, haben aber auch neue Fähigkeiten hinzugewonnen, mit denen sie fantastisch an das Zusammenleben mit ihren Menschen angepasst sind. So spielen viele Hunde ihr ganzes Leben lang und sind bis ins höhere Alter lernfähig. Im Gegensatz zu Wölfen kann man Hunde sehr gut erziehen, was für das Zusammen-

leben der Hunde mit den Menschen enorm wichtig ist. Im Unterricht können die Schüler/-innen die Grundkommandos mit den Schulhunden üben, was gleichzeitig die Selbstkompetenz der Lernenden stärkt, da die Befehle von einem gut erzogenen Hund auch umgesetzt werden. Beim Führen des Schulhundes an der Leine wird für die Schüler/-innen die enge Bindung der Hunde zum Menschen begreifbar, da diese auf beeindruckende Weise mit den Menschen kooperieren (Abbildung 6).

#### *Übung mit dem Schulhund: Wie lösen Hunde selbständig Probleme?*

Einige Studien haben gezeigt, dass sich Hunde und Wölfe nicht grundsätzlich in ihren kognitiven Fähigkeiten unterscheiden, sondern dass die Hunde sich unter Umständen vom Menschen zu sehr beeinflussen lassen, um diesem zu „gefallen“.

*Umsetzung im Unterricht:* Die Lernenden untersuchen die Problemlösekompetenz der Hunde durch Experimente, indem sich die Hunde zum Beispiel mit einem Kognitionsspielzeug (Abbildung 7) beschäftigen. Bei den Kognitionsspielzeugen handelt es sich um gängige, im Handel erwerbende, Intelligenzspielzeuge.

Im Unterricht wurden die folgenden Fragestellungen durch praktische Übungen erforscht [6, 14–16]:

- Wie kooperieren die Hunde mit uns Menschen? → Becherspiele, Zeigegesten
- Wie sensibel sind die Hunde gegenüber dem Menschen? → „Ich stehe, was du nicht siehst.“
- Können die Hunde Menschen mit guter und mit schlechter Laune unterscheiden?
- Arbeiten Hunde lieber alleine oder zusammen? → Forschungsprojekt mit den Junghunden Tamino und Tesseo
- Zeigen Hunde ein soziales Lernen? → Es wird untersucht, ob Tamino und Tesseo voneinander und miteinander lernen.
- Können die Hunde Mengen unterscheiden?

### **Unterrichtsprojekt 2: Die Mensch-Hund-Kommunikation oder: Wenn Hunde uns ihre Welt erklären**

*Umsetzung im Unterricht:* Ziel ist, dass die Schüler/-innen aller Jahrgangsstufen die Körpersprache der Hunde besser kennenlernen. Dabei erkennen sie, wie klar und eindeutig die Kommunikation der Hunde ist, sofern wir uns mit ihrer Verhaltensbiologie und ihrem Kommunikationsrepertoire näher beschäftigen. Das gelingt am besten über einen Perspektivwechsel, indem die Schüler/-innen die Hundesprache – also Körpersprache und Vokalisation und welche Funktion diese jeweils erfüllen – aus Sicht der Hunde begreifen. Dazu macht es Sinn, sich zuerst mit dem Ausdruck der eigenen Körpersprache zu beschäftigen, um ihr Ausdruck zu verleihen, was bei der Arbeit mit den Hunden enorm wichtig ist. Anschließend lernen die



**ABB. 6** Die Schülerin Anne bei Übungen mit dem Schulhund Jolie.

Schüler/-innen die Körpersprache der Hunde kennen und lernen, diese der Situation angemessen zu interpretieren [17].

#### *Übung: Die Mensch-Hund-Kommunikation*

Aufgabe für die Schüler/-innen: Interpretiert, wie sich die Schulhündin Jolie bei den beiden gezeigten Situationen fühlt. Was bedeutet dies für die Mensch-Hund-Kommunikation allgemein (Abbildung 8)?



Intelligenzspielzeug

**ABB. 7** Tamino und Tesseo bei einer Übung im NaWi-Unterricht mit einem Intelligenzspielzeug, bei der die beiden Brüder durch Nachdenken und Ausprobieren an das Futter gelangen.

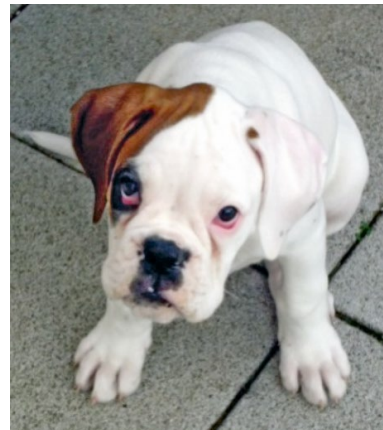


Situation A



Situation B

**ABB. 8** Beim Interagieren und Kommunizieren mit Jolie beugt sich das Frauchen in Situation A über den Hund und hält ihn am Halsband fest; bei Situation B geht das Frauchen von Jolie auf Augenhöhe mit dem Hund und lässt Jolie über Nähe und Interaktion mit ihr entscheiden.



**ABB. 10** Der typische Hundeblick von Jolie.

**ABB. 9** Übungen mit Tamino und Tesseo auf dem Stepper.

#### VIER ERKLÄRUNGSEBENEN VON VERHALTENSWEISEN NACH TINBERGEN

Die inzwischen legendären vier Fragen TINBERGENS in Bezug auf die Erklärung von Verhalten beziehen sich auf:

- ... die unmittelbaren oder proximatoren Ursachen des Verhaltens,
- ... die Entwicklung des Verhaltens,
- ... die evolvierte oder ultimate Funktion des Verhaltens,
- ... den phylogenetischen Ursprung des Verhaltens.

### Unterrichtsprojekt 3: Entwicklung von ethologischen Experimenten zu den Kognitionsleistungen der Hunde

Durch die Betrachtung der Kognitionsleistung der Hunde durch die Brille der Wissenschaft lernen die Schüler/-innen das Verhaltensrepertoire des Hundes fundierter kennen und arbeiten sich gleichzeitig in die Methodik der Verhaltensbiologie sowie in das Planen und Durchführen wissenschaftlicher, ethologischer Experimente ein.

#### Einführung in die Verhaltensbiologie

Um theoretisch fundiert argumentieren zu können, beschäftigen sich die Lernenden zuerst damit, was unter dem zentralen Begriff „Verhalten“ zu verstehen ist. Sie erkennen, dass bei einer Verhaltensweise entscheidend ist, welche Vorteile bzw. Nachteile das Verhalten für das Überleben und die Fortpflanzung bietet.

*Umsetzung im Unterricht:* Die Schüler/-innen diskutieren, welchen Vorteil die Kooperation des Hundes mit dem Menschen für die Gesamtfitness des Hundes hat. Ein Beispiel dafür ist der typische Hundeblick [21]. In einer praktischen Übung mit den Hunden beobachten die Lernenden sehr genau, wie der Hund mit seiner Bezugsperson kooperiert. Anschließend führt eine Schüler/-in den Schulhund durch einen Parcours und die anderen Schüler/-innen beobachten, wie der Hund mit der nicht direkten Bezugsperson (in diesem Fall nicht das Frauchen des Hundes) kommuniziert und kooperiert (Abbildung 9).

Um die Ursachen möglicher Verhaltensweisen auch wissenschaftlich begründen zu können, beschäftigen sich die Lernenden mit den vier Erklärungsebenen von Verhaltensweisen nach TINBERGEN [7] (siehe Kasten) und wenden diese auf die Forschungsfrage an, warum sich der so typische Hundeblick im Laufe der Evolution etablieren konnte (Abbildung 10).

Nach einem Beratungsgespräch mit Dr. Juliane Bräuer (promovierte Biologin mit dem Schwerpunkt „Vergleichende Psychologie“ und Leiterin der Bereiches „Hunde-Studien“ am Max-Planck-Institut für Menschheitsgeschichte in Jena) achten wir im Unterricht in besonderem Maße darauf, dass die eigenen Experimente möglichst nach wissenschaftlichen Methoden geplant werden. Aus diesem Grund werden Sinn und Zweck von Studien mit den Schüler/-innen diskutiert und die Erkenntnisse daraus anschließend auf das eigene geplante Experiment angewendet [6].

*Umsetzung im Unterricht: Wozu braucht man Studien in der Wissenschaft?*

Über Hunde wird viel geschrieben und behauptet. Es gibt viele Bücher, in denen das Verhalten des Hundes interpretiert und teilweise vermenschlicht wird und damit jeglichen wissenschaftlichen Ansprüchen widerspricht. Die Schüler/-innen erkennen, dass nur wissenschaftliche Studien kontrollierte Bedingungen bieten, die notwendig

sind, um zu verstehen, was hinter der gezeigten Verhaltensweise steckt und dass zum wissenschaftlichen Arbeiten der Ablauf eines Experiments immer gleich sein muss, wobei verschiedene Bedingungen beim Experiment mit den Hunden gezielt verändert werden können. Anschließend vergleichen sie das Verhalten der Hunde unter diesen Bedingungen, um einzugrenzen, aus welchem Grund der Hund sich so verhalten hat. Da die beiden Brüder Tamino und Tesseo in die Experimente involviert sind, lernen die Schüler/-innen auf eine ganz natürliche Weise die Bedeutung von Kontrollgruppen beim wissenschaftlichen Experimentieren kennen und können dies in der praktischen Arbeit auch umsetzen [6].

*Umsetzung im Unterricht: Erstellen eines Versuchsdesigns zu den kognitiven Fähigkeiten des Hundes nach den grundlegenden Schritten des wissenschaftlichen Arbeitens*

Die Schüler/-innen sichten zusammen mit ihrem Team Informationen zu den verschiedenen Forschungsschwerpunkten, die sich u. a. auf die Erforschung der Kognitionsleistungen des Hundes spezialisiert haben (Abbildung 11). Zur Recherche sind die folgenden Ansprechpartner/-innen hilfreich: Dr. Juliane Bräuer, MPI für Menschheitsgeschichte, Jena; Dr. Friederike Range, CLEVER DOG LAB, Veterinärmedizinische Universität, Wien; Prof. Dr. Brian Hare, *Department of Evolutionary Anthropology, Core Faculty, Center for Cognitive Neuroscience, Duke University, North Carolina*.

Die Lernenden beschreiben kurz und prägnant das Experiment, für das sie sich entschieden haben, und beantworten dabei die folgenden Fragen:

- (1) Welche Funktion könnte das Verhalten haben?
- (2) Auf welchem phylogenetischen Ursprung könnte diese Verhaltensweise beruhen?

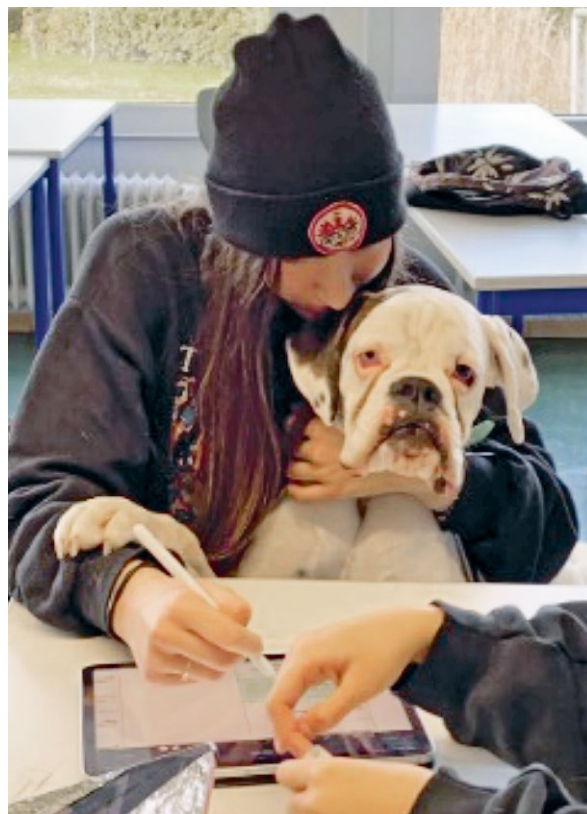
Anschließend sammeln sie Vorabinformationen zu ihrem Experiment, indem sie dazu Originalliteratur lesen bzw. eine E-Mail an die betreffenden Forscher/-innen schreiben sollen, damit diese ihnen eventuell themenbezogene, wissenschaftliche Dokumentationen zur Verfügung stellen können.

Nach der Literaturrecherche entwickeln die Lernenden eine mögliche Forschungsfrage und formulieren begründete Hypothesen zu dieser. Das Formulieren einer Forschungsfrage sowie von begründeten Hypothesen wird im Unterricht detailliert besprochen (→ Nullhypothese/Gegenhypothese formulieren). Im Vorfeld überlegen sich die Schüler/-innen mögliche Beobachtungsschwerpunkte und klären in ihrem Team, wer welche Verhaltensweise beim Hund beobachtet und wie diese dokumentiert werden soll. Dazu ist es entscheidend, dass sich die Schüler/-innen Methoden überlegen, wie sie ihre Daten erheben möchten. Das Ziel der Datenaufnahme ist hierbei, eine vorher aufgestellte Hypothese zu testen. Das Formulieren von begründeten Hypothesen im Vorfeld ist daher sehr wichtig, da es dazu zwingt, sich sehr genau zu

überlegen, welche Erwartungen an eine geplante Datenaufnahme gestellt werden müssen. Durch gezielte Überlegungen zur Datenaufnahme ordnen die Schüler/-innen ihre Ergebnisse in einen breiteren Rahmen ein. Dazu vergleichen sie diese mit Literaturangaben oder stellen noch einmal dar, warum diese Arbeit besonders interessant war. Auch können Möglichkeiten für Folgearbeiten aufgezeigt werden, was den wissenschaftlichen Forschungsprozess transparent für die Lernenden macht.

Am Tag des Experiments notieren die Lernenden Beobachtungen zu den gezeigten Verhaltensweisen der Schulhunde. Dabei lernen sie, welche Rolle eine wissenschaftliche Beobachtung in der Verhaltensbiologie spielt. Denn Alltagsbeobachtungen (unsystematisches bzw. inzidentelles Beobachten) unterscheiden sich erheblich von einem systematischen (wissenschaftlichen/ wissenschaftsprägenden) Beobachten. Bei den geplanten Experimenten wird immer eine Variable verändert, die in der Hypothese genannt wird, wobei alle anderen Faktoren (Variablen) konstant gehalten werden, soweit dies möglich ist.

Bei der Durchführung der Experimente lernen die Schüler/-innen, dass sie dem Experiment unvoreingenommen gegenüberstehen müssen, damit nicht lediglich das beobachtet wird, was erwünscht ist. Zur Dokumentation wird das Verhalten der Hunde während der Experimente



**ABB. 11** Gemeinsames Planen der Experimente im Forschungsteam.

# WAHRNEHMUNG

durch Sinne

## Vorbereitung

**Info**

**Ronja**  
mag Käse und nimmt dies als Beute wahr

**Jagdinstinkt**  
angeboren  
sorgte früher für das Überleben  
ist auch heute erhalten

**Frage**  
Mit welchen Sinnen nimmt der Hund seine Beute wahr?

Der Hund nimmt seine Beute dann wahr, ...

1. wenn sie sich bewegt
2. wenn sie stark Geruch verströmt
3. wenn sie Geräusche macht

## Versuch

1. platziere die Beute (unbewegt)
2. platziere die Beute und ziehe sie langsam über den Boden
3. führe Versuch 2 nun mit einer versteckten Rassel durch
4. nun wird Versuch 2 bei Dunkelheit durchgeführt

**Daten**

- > Versuche werden gefilmt
- > Verhalten wird beschrieben
- > Sinne stehen im Vordergrund

Vergleich: Jolie dient als Vergleich

## KOGNITIONSLEISTUNG VON JOLIE

Bewusst die Bedeutung der Entscheidung nach Kunden zwischen dem herrschen und einer fremden Person?

1. Solange die Bedeutung keine Rolle spielt entscheiden sich die Hunde für sein Herrchen, da es es dieser Person eine Belohnung hat.
2. Wäre der Hund in Kenntnis über die Bedeutung gewohnt, entscheiden er sich für die fremde Person, da er die Möglichkeit bekommt ein belohnt Leckerchen zu erhalten.

**Versuchsaufbau**

Das beiden Durchlaufen beide Person 1 (weshalb dem Hund ein Leckerchen anbieten, während Person 2, Person 1 mit ein Leckerchen anbieten. Die Belohnung wird jeweils verstreut in der Faust gehalten.

**Durchlauf 1**  
→ nach Entscheidung für Person 1 (weshalb Person 1 zeigt auch ein Leckerchen)

**Durchlauf 2**  
→ nun kommt die neue Beute Belohnungen wie vorher aber es sich geht!

**Vorhersage:**  
Wenn der Hund weiß, welche Belohnungen sich ihm bieten, dann entscheidet er sich für die bessere?

**Datenaufnahme**

Tag	Durchlauf 1	Durchlauf 2
Tag 1		
Tag 2		
Tag 3		

Alle Durchläufe werden gefilmt

## Wir erforschen das Lerntempo von Hunden

**Forschfrage:** Mit welchem Tempo eignen sich Hunde ihr Wissen an?

**Versuchsbeschreibung:**

- Wir schließen das ihr unbekanntes Spielzeug vor ihren Augen
- Jolie soll das Leckerli finden
- Der Vorgang wird mehrere Male wiederholt, um einen Zufall auszuschließen.

**Hypothesen**

- sie schaffen es direkt
- sie schaffen es nach Demonstration
- sie verliert das Interesse
- sie schafft es durch Zufall
- sie schafft es gar nicht

**Beobachtungsschwerpunkte:**

1. Verhalten während des Lernens
2. Verhalten während des Versuchs

## HAT DIE MIKIK DES MENSCHEN AUSWIRKUNG AUF DAS VERHALTEN DES HUNDES

Wir vermuten, dass die Mimik des Menschen Auswirkung auf das Verhalten des Hundes hat, da der Hund in der Lage ist Mimik zu deuten und diese für seinen Vorteil zu nutzen.

**VERSUCHSAUFBAU**

Personen A & B bieten dem Hund ein Leckerli an

Person A zeigt eine freundliche Mimik  
Person B zeigt eine grimmige Mimik

Die aufgeführten Faktoren sollen möglichst gleich sein, damit die Wirkung der Versuchsaufbau verändert werden kann

**Durchgänge:**

1. Durchgang → siehe Versuchsaufbau
2. Durchgang → Personen A und B tauschen Mimik
3. Durchgang → Personen A und B basken auf Mimik

**Für welche Person entscheidet sich der Hund?**

Wenn sich der Hund zwischen zwei Personen mit freundlicher oder grimmiger Mimik entscheiden muss, dann wird er sich für die Person mit freundlicher Mimik entscheiden.

**Dokumentation mit:**  
Schriftlich  
filmen

## Können Hunde Geschlechter bei Menschen unterscheiden?

+ besteht eine Lernkurve

**Hypothesen:**

1. Ja, da diese Unterscheidung die Gefahrenschätzung verbessert.
2. Lernkurve ist ersichtlich, falls Hypothese 1 zutrifft.

**Gegenhypothese:**

1. Nein, Jolie entscheidet nur aufgrund persönlicher Sympathie

**Versuchsaufbau:**

♀ → A  
♂ → B

**Ergebnisse:**

werden in einem Diagramm festgehalten und ausgewertet

**Beobachtungsschwerpunkte:**

- 3 Wochen in 7 Durchführungen
- Personen und Sitzplätze variieren
- Versuchspersonen neutral

STAPLES

## DES HUNDES IQ-TEST

**Forschfrage:** Lässt sich durch Experimente mit dem kognitiven Verhalten eines Hundes mit Hilfe vereinfachter menschlicher IQ-Tests ein IQ-Wert für den Hund ermitteln?

**Hypothese:** Ja, da dieser Test auf vereinfachten menschlichen bereits vorhandenen Tests basiert!

**erarbeitete Tests:**

1. photographisches Gedächtnis
  - bspw. Wiedererkennen von Formen
  - bspw. Merken von Personen auf Bildern (Trafikaufgaben)
  - Farberkennung bei Hunden
2. Logisches Denken
  - Übertragen von gezeigten Prozessen auf ähnliche Situationen (Transferaufgaben)
  - Vorzeigen einer Aktion, die der Hund wiederholen muss

**Protokollierweise:**

One-zero sampling (Notieren des Auftretens oder Nicht-Auftretens einer Verhaltensweise)

Intervall-Protokoll (Aktivität in Zeitabschnitten)

ABB. 12 Flipcharts der Schüler/-innen des Wahlpflichtkurses Naturwissenschaften Klasse 10 zur Präsentation ihres Forschungsdesigns zu den Kognitionsleistungen der Hunde. Fotos: Lena Kunkel.



mit der Handycamera aufgezeichnet. Abschließend werden die Versuchsergebnisse nach wissenschaftlichen Kriterien interpretiert. Dabei können die folgenden Fragen als Hilfestellung dienen:

- War der Versuchsaufbau sinnvoll?
- Gab es irgendetwas, was den Hund womöglich abgelenkt hat?
- Wie motiviert war der Hund, mit dem gearbeitet wurde?

Oberster Grundsatz bei dieser Art der Experimente mit den Hunden ist, dass alles auf freiwilliger Basis abläuft und nur mit einer positiven Verstärkung gearbeitet wird! Es soll allen Beteiligten Spaß machen. Nur dann kann der Hund auch Bestleistungen zeigen. Faktoren, die nicht kontrolliert werden können wie klimatische Bedingungen oder bestimmte Eigenschaften der Versuchstiere, sollten – soweit sie bekannt sind – in der Versuchsplanung berücksichtigt werden. Vor der Datenaufnahme bestimmen die Lernenden in der Gruppe, welches Verhalten wie definiert und registriert wird.

Abschließend werden die aufgenommenen Daten ausgewertet und die Ergebnisse des Experiments – unter Bezugnahme auf die zu Beginn formulierten Hypothesen und die Literatur – interpretiert. Die Deutungen der Beobachtungsergebnisse erweisen sich in der Regel als der schwierigste Teil der Arbeit. Oft neigen die Lernenden dazu, Beschreibung und Deutung miteinander zu verbinden, teilweise sogar in einem einzigen Satz. Oft wird versucht, die Verhaltensweise sofort zu erklären und damit Phänomene vorschnell und ohne kritische Reflexion zu deuten. Dies gilt es mit den Lernenden kritisch zu diskutieren. Tatsache ist, dass die Deutung von Tierverhalten häufig nur in Ansätzen möglich ist. Ursachen und Folgen lassen sich oft nur schwer abschätzen. Allein das zu erkennen, ist ein großer Erkenntnisgewinn für die Schüler/-innen [18, 19].

Bei der Planung eines Experiments kann die Etablierung des V-Diagramms nach Monique Meier und Jürgen Mayer hilfreich sein [20]. Um die Lernenden in das wissenschaftliche Präsentieren einzuführen, hat Frau Lena Kunkel, Lehrerin der Ricarda-Huch-Schule und Landeskoordinatorin für „Jugend präsentiert“, ein Konzept zur Gestaltung von Flipcharts sowie ein Workshop zum Präsentieren naturwissenschaftlicher Ergebnisse entwickelt und die Schüler/-innen darin geschult. Abbildung 12 zeigt beispielhaft einige Flipcharts der Schüler/-innen des Wahlpflichtkurses NaWi Klasse 10, auf denen das Forschungsdesign zu den Kognitionsleistungen der Hunde fixiert wurde.

### Zusammenfassung

*Die Corona-Pandemie hat uns einmal mehr gezeigt, wie wertvoll und gewinnbringend der Einsatz eines Schulhundes in allen Schulformen ist, denn die Lernenden weisen zum Teil starke Defizite im Bereich der sozialen und emotionalen Kompetenzen sowie der Selbstkompetenz auf.*

### GLOSSAR

**Domestikation:** Domestikation von Wildtieren oder Haustierwerdung ist ein innerartlicher Veränderungsprozess von Wildtieren, bei dem diese durch den Menschen über Generationen hinweg von der Wildform genetisch isoliert werden. Wildtiere werden durch Domestikation zu Haustieren.

**Gesamtfitness:** Die Gesamtfitness setzt sich aus der direkten Fitness – der Anzahl der Gene, die durch eigene Nachkommen weitergegeben wird – und der indirekten Fitness – der Anzahl der eigenen Gene, die über Verwandte an die nächste Generation weitergegeben wird – zusammen.

**Schulhund:** Der Schulhund (Präsenzhund) verbringt regelmäßig eine gewisse Zeit im Klassenraum und im Unterricht. Er wird von einer für den pädagogischen Hundeeinsatz ausgebildeten Lehrperson geführt. Der Hund ist speziell auf seine Eignung getestet, entsprechend ausgebildet und wird regelmäßig im Einsatzort Schule überprüft [2].

*An der Ricarda-Huch-Schule leisten die Schulhunde nicht nur als Präsenz Hunde wertvolle Dienste, sondern werden zusätzlich in den naturwissenschaftlichen Unterricht zum forschenden Lernen integriert. Gemeinsam mit dem die Schulhunde betreuenden Tierarzt, Herrn Dr. med. vet. Gregor Schroth, haben wir ein Konzept entwickelt, wie durch die Planung ethologischer Experimente zu den Kognitionsleistungen der Schulhunde Jolie, Tamino und Tesseo das wissenschaftliche Denken und Arbeiten sowie der Tierschutzgedanke bei den Lernenden nachhaltig gefördert werden kann. Oberstes Ziel ist dabei stets das Wohl der Hunde.*

### Summary

#### *A co-pedagogue on four paws*

*Corona has proven once again how valuable and profitable working with a school therapy dog in the classrooms of all types of schools is, as the learners show to some extent strong deficits in social and emotional competences as well as in self-competence. At Ricarda-Huch-School, therapy dogs do not only provide valuable services by just being present but additionally, they are also an integral part in science classes as a learning object. In cooperation with our local veterinarian Dr. med. vet. Gregor Schroth, who attends to the dogs, we have developed a concept of how to sustainably enhance scientific thinking and working of the learners as well as the animal welfare idea through the planning of ethological experiments on the cognitive performances of the school dogs Jolie, Tamino, and Tesseo. Needless to say, the welfare of the animals has always top priority.*

### Schlagworte

Schulhund, Präsenzhund, Erforschung der kognitiven Fähigkeiten der Hunde, Planung von ethologischen Experimenten, Verhaltensbiologie im naturwissenschaftlichen Unter-

richt sowie im Grund- und Leistungskurs in Biologie, Ricarda-Huch-Schule in Dreieich-Sprendlingen

### Literatur

- [1] A. Beetz (2021). Hunde im Schulalltag. München. Ernst Reinhardt Verlag.
- [2] A. Beetz et al. (2021). Tiergestützte Interventionen – Handbuch für die Aus- und Weiterbildung. München. Ernst Reinhardt Verlag.
- [3] J. Bräuer (2014). Klüger als wir denken: Wozu Tiere fähig sind. Heidelberg. Springer-Spektrum.
- [4] R. Coppinger, Mark Feinstein (2018). Die Ethologie der Hunde. Nerdlen. Kynos Verlag.
- [5] B. Hare, V. Woods (2013). The Genius of Dogs. London. One World Publications.
- [6] J. Kaminski, J. Bräuer (2021). Was Hunde wissen. Berlin. Springer-Verlag.
- [7] P. Kappeler (2017). Verhaltensbiologie. Heidelberg. Springer-Spektrum.
- [8] K. Kotschal (2016). Hund & Mensch: Das Geheimnis unserer Seelenverwandtschaft. Wien. Brandstätter.
- [9] M. Naguib (2020). Methoden der Verhaltensbiologie. Heidelberg. Springer-Spektrum.
- [10] E. Olbrich, C. Otterstedt (2003). Menschen brauchen Tiere: Grundlagen und Praxis der tiergestützten Pädagogik und Therapie. Stuttgart. Franckh-Kosmos-Verlag.
- [11] I. Rösl (2011). Schnupperpraktikum: Mein erstes Jahr als Schulhund. Leipzig. Engelsdorfer-Verlag.
- [13] F. Rosell (2017). Die Welt der Gerüche. Nerdlen. Kynos-Verlag.
- [14] <https://www.shh.mpg.de/2200333/hundestudien>
- [15] <https://www.eva.mpg.de/de/psychologie/hundekognition/>
- [16] <https://www.vetmeduni.ac.at/cleverdoglab>
- [17] B. Wardeck-Mohr (2016). Die Körpersprache der Hunde: Wie Hunde uns ihre Welt erklären, Nerdlen. Kynos Verlag.
- [18] A. B. Bublak (2023). „Ausdrucksverhalten von Hunden (*Canis familiaris*) gegenüber dem Menschen in einem Verhaltenstest und Beschwichtigungssignale in der Hund-Mensch-Kommunikation“, Inaugural-Dissertation zur Erlangung der tiermedizinischen

Doktorwürde der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München.

- [19] Tierverhalten beobachten im Erlebnis-Zoo Hannover, Zooschule Hannover (2016).
- [20] M. Meier, J. Mayer (2011). Gewusst Vee! – Ein Diagnoseinstrument zur Erfassung von Konzept- und Methodenwissen im Biologieunterricht. Schulpädagogik heute.
- [21] M. Gerbig-Groß et al. (2020). Wie konnte der Hund zum besten Freund des Menschen werden? Unterricht Biologie 460 | 2020.

### Verfasst von:



Martina Gerbig-Groß studierte die Fächer Biologie und Chemie an der Technischen Hochschule in Darmstadt. Sie arbeitet als Lehrerin an der Ricarda-Huch-Schule in Dreieich-Sprendlingen. Außerdem ist sie seit 2006 Ausbilderin für Biologie und DFB am Studienseminar für Gymnasien in Darmstadt.



Gregor Schroth studierte Veterinärmedizin in Gießen, anschließend angestellter Tierarzt in der Tierklinik Maurer in Heidelberg und Promotionsarbeit in der Grundlagenforschung am Institut für Pharmakologie und Toxikologie der Universität des Saarlandes Homburg/Saar mit dem Titel: „Vergleich der gewebespezifischen mRNA-Expression des kapazitiven Kalziumkanals CCE1 mit dem Expressionsmuster von CCE2 und TRP2“. Heute niedergelassener Tierarzt in der tierärztlichen Praxis Schroth in Biebesheim.

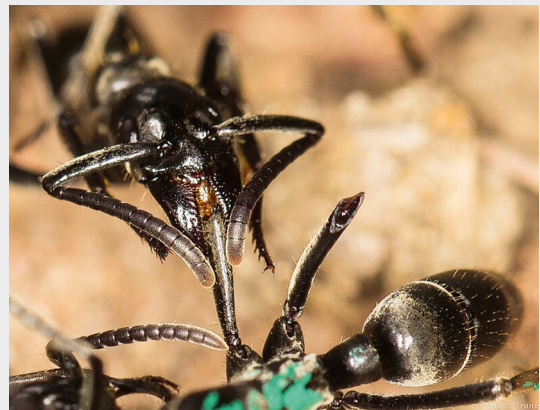
### Korrespondenz

Martina Gerbig-Groß  
Ricarda-Huch-Schule, Dreieich-Sprendlingen  
Breslauer Straße 15  
63303 Dreieich  
E-Mail: [gerbig-gross.martina@sts-gym-da.eu](mailto:gerbig-gross.martina@sts-gym-da.eu)

### NETFLIX-TIPP „WUNDHEILUNG BEI AMEISEN“

Erik Franks Forschung über die afrikanischen Matabele-Ameisen, die ihre Verletzten versorgen, hat schon vor einigen Jahren das Interesse einer Filmproduktionsfirma geweckt. Diese war im Auftrag von Netflix auf der Suche nach spannenden Geschichten für die achteilige Naturdokumentation *Life on Our Planet*, in der es um die Evolution des Lebens in den vergangenen 500 Millionen Jahren geht. Nach sechs Jahren Arbeit ist die Serie nun auf Netflix zu sehen. Regie führte Steven Spielberg, Sprecher der englischen Version ist der Schauspieler Morgan Freeman. Die Serie wurde ins Deutsche und zahlreiche andere Sprachen übersetzt. Die Matabele-Ameisen kommen in der fünften Folge vor, die „Im Schatten von Giganten“ heißt und 51 Minuten dauert.

Der Teil über Erik Franks Ameisen wurde im April 2021 in der Comoé-Forschungsstation der Universität Würzburg an der Elfenbeinküste gedreht. „Das hat drei Wochen gedauert, der Aufwand war enorm“, erzählt Frank, der in Würzburg forscht. Aufgenommen wurde im natürlichen Lebensraum der Ameisen, aber auch in künstlichen Nestern im Labor der Forschungsstation.



Eine Matabele-Ameise versorgt die Wunden einer Kameradin. Foto: Erik T. Frank.

<https://www.netflix.com/de/title/80213846>

## ÖKOLOGIE

## Partnerschaft mit der Erde



Die in den letzten Jahren in vielen Regionen der Welt sich häufenden extremen Wetterereignisse – Trocken- und Dürreperioden, Regen- und

Sturmereignisse mit ungewöhnlichen Überschwemmungen, Schneearmut im Winter und Gletscherrückgänge – dürften auch dem letzten noch zweifelnden ernsthaft nachdenkenden Menschen und vor allem Wissenschaftlern klar gemacht haben, dass die Klimaerwärmung mit vielen Folgen in unserem Leben angekommen ist. Eine weitere viel unauffälligere Veränderung findet aber ebenfalls statt: die Verarmung der Artenvielfalt in der Pflanzen- und Tierwelt. Ihre Ursachen sind zum Teil Folgen der Klimaveränderung, haben jedoch auch ganz andere Ursachen wie Habitatzerstörung, überhöhter Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden in der Landwirtschaft und Ressourcenübernutzung in den Meeren. Es ist offensichtlich, dass viele anthropogen initiierte Prozesse die über lange Zeiträume der Erdgeschichte fein aufeinander abgestimmten globalen biogeochemischen Prozesse und Stoffkreisläufe und Ökosysteme so massiv beeinflusst und verändert haben wie niemals zuvor in der Erdgeschichte. Wie diese Prozesse aber ausgewogen aufeinander abgestimmt sind, miteinander zusammenhängen, einander bedingen und wie diese ein Charakteristikum der im Kosmos einzigartigen Erde sind und sich im Laufe der Erdgeschichte entwickelt haben, ist viel weniger bekannt, aber heute gut erforscht und dokumentiert. Sie sollten uns viel deutlicher bewusst sein und können unsere Perspektive über einzelne

Fachdisziplinen hinaus erweitern, ganz im Sinne des Weitblickes von Alexander von Humboldt, dem Begründer der Ökologie. Denn ein empathischerer Blick auf die Erde als unseren Heimatplaneten kann auch unseren Umgang mit ihr förderlich beeinflussen.

Der Biologe und Geograf Albrecht Schäd hat zu diesem Themenkomplex ein Buch vorgelegt, in dem in multiperspektivischer Sicht die Besonderheiten der Erde und ihre einzigartigen Bedingungen zum Etablieren von Leben im Vergleich zu den anderen Planeten dargelegt werden. Aufgrund ihrer Position zur Sonne, ihrer Größe, der Neigung der Erdachse, des Einflusses des Mondes und der daraus resultierenden Tatsache, dass seit frühester Zeit kontinuierlich flüssiges Wasser vorhanden war, konnte sich Leben auf der Erde etablieren und entwickeln. Es wird jedoch auch aufgezeigt, wie erst die Rückkopplung einer Reihe von globalen Lebensprozessen – u. a. Bindung von Kohlendioxid und Bildung von Sauerstoff – im Laufe der Erdgeschichte dazu geführt haben, dass die Erde über mehr als vier Milliarden Jahre eine zunehmend stabilere thermische Homöostase herausgebildet hat, eine Voraussetzung für alle evolutiven Vorgänge und für die Etablierung des heutigen Klimas und der Artenvielfalt. Global wirksame Lebensprozesse von Mikroorganismen haben erst die Voraussetzung dafür geschaffen, dass im Laufe der Evolution höhere Organismen bis hin zum Menschen sich entwickeln konnten. In insgesamt zehn Kapiteln werden vor allem folgende Themen behandelt: Die Erde, der besondere Planet. Was ist Leben? Leben verändert die Umwelt. In diesem Hauptkapitel werden u. a. aussagekräftige Beispiele kurz dargestellt, welche zeigen, wie Lebensprozesse von bestimmten Tieren und Pflanzen und deren Wechselwirkungen mit der Umwelt sich zum gegenseitigen Nutzen bedingen. In einem weiteren Hauptkapitel werden organische Eigenschaften des Lebens

daraufhin untersucht, ob sie auch Gültigkeit haben für global wirksame Lebensprozesse, Systembildung, Bildung der relativen Autonomie von Organismen, Prozessierung von Information, integrative biologische Systeme, Gestaltbildung, Zeitautonomie, Prozessierung von Energie, Sensibilität (für die Umwelt), Eigenaktivität, Fähigkeit zur Evolution, Wachstum und Entwicklung, Anpassungsfähigkeit an innere und äußere Bedingungen, Fortpflanzung und Tod. Hier wird in sehr anregender Weise gezeigt, dass viele dieser Eigenschaften sich auf die ganze Erde anwenden lassen, was den Schluss zulässt, dass die Erde in vielerlei Richtung Eigenschaften von organismischen Lebensprozessen aufweist. Diese Eigenschaften wurden von dem Biologen Bernd Rosslenbroich entwickelt und sind kürzlich in dem Buch „*Properties of Life*“ bei MIT Press, Boston (ISBN 9780262546201) publiziert worden. Wie dargelegt wird, wurde die Erde im Laufe der Neuzeit von verschiedenen Wissenschaftlern immer wieder tatsächlich als ein Lebewesen angesehen, da sie viele Eigenschaften von Leben aufweist. In einem weiteren Kapitel werden die Jahreszeiten in verschiedenen Klimaregionen und deren unterschiedliche Ausgestaltung auf verschiedenen Kontinenten dargestellt und in anregender Weise als global differenzierte Lebensprozesse interpretiert. Zum Schluss wird anhand der Entwicklung von Kulturlandschaften in Mitteleuropa ausgeführt, dass die Tätigkeit des Menschen in der Natur zu einer Zunahme der Biodiversität geführt hat. Die Evolution des Menschen in Afrika hat in einer Savannenlandschaft stattgefunden, die ganz ähnliche Eigenschaften wie Kulturlandschaften hat, die demnach als Kultursavannen angesehen werden können. Gerade heute, wo der Mensch vielfach massiv schädigend in die Natur und in das Klimageschehen mit globalen negativen Folgen eingreift, ist es wichtig zu erkennen, dass menschliche Aktivi-

täten durchaus sehr förderlich für die Entwicklung von Landschaften, Kultur- und Naturräumen waren und sein können, ja eigentlich sogar sein müssen.

Dieses Buch ist nicht nur aus aktuellem Anlass der Klima- und Biodiversitätskrise sehr anregend und zeitgemäß, sondern auch, weil es viele Aspekte aus ganz unterschiedlichen Fachdisziplinen zusammenbringt, um den Blick auf die Erde und auf ihr stattfindende Lebensprozesse zu richten. So etwas passiert heute in einer eher disziplinorientierten Wissenschaftshaltung viel zu selten, ist aber notwendig, um diese höchst komplexen Zusammenhänge besser zu durchschauen und verstehen zu können.

Wie vom Autor im Vorwort erläutert, richtet sich das Buch eher an wissenschaftlich interessierte Laien. Es ist jedoch durchaus auch für Fachwissenschaftler wertvoll, um sich einen fachübergreifenden Einblick in globale Lebensprozesse zu verschaffen und um wichtige weiterführende Literatur zu finden. Dafür wäre es allerdings hilfreich gewesen, wenn noch mehr Bezug auf Primärliteratur genommen worden wäre. Denn als Literaturquellen werden vor allem Bücher und Übersichtsartikel herangezogen und nur exemplarisch Originalarbeiten. Es ist zudem anzumerken, dass an verschiedenen Stellen Fakten erwähnt werden ohne jeglichen Bezug zu einer Quelle, z. B. dass die Integration von Retroviren in das Erbgut von Säugern zur Entwicklung der Plazenta geführt hat (S. 49); die Angabe der frühesten Nachweise von Prokaryonten in der Erdgeschichte (S. 55); die besondere Bedeutung des Austritts von Wasser aus der Erdkruste am mittelozeanischen Rücken zur Aufrechterhaltung der Salzkonzentration der Meere (S. 72–73); und mittlere Verweilzeiten von verschiedenen Wasserreservoirs (S. 75). Beim Ausblick auf die Zukunft auf S. 135 wird angeführt, dass das Korallensterben

eine Folge der Versauerung der Meere sei. Nach aktuellen Forschungsergebnissen ist das aber vor allem eine Folge der Erhöhung der Temperaturen in den bereits schon sehr warmen tropischen Meeren.

Trotz dieser Kritikpunkte ist dem Buch eine große Verbreitung zu wünschen, denn es verschafft den Lesern einen neuen und erhellenden Blick auf viele Besonderheiten der Erde und der mit ihr zusammenhängenden Lebensprozesse. Dieser Blick trägt hoffentlich dazu bei, dass wir als Erdenbürger ein partnerschaftlicheres Verhältnis zu ihr entwickeln und viel sorgsamer und verantwortungsvoller mit der Erde als einem ganz besonderen Planeten umgehen.

*Meinhard Simon, Oldenburg*

### Vom Leben unserer Erde.

Eine Liebeserklärung an unseren Heimatplaneten. Albrecht Schad, Verlag Freies Geistesleben, Stuttgart, 2023, 189 S., 24,00 Euro, ISBN 978-3-772-51158-5.

## ORNITHOLOGIE

### Federn bestimmen



zum Fliegen. Nur die Straußenvögel und Pinguine haben sekundär ihre Flugfähigkeit verloren. Federn müssen leicht, stabil und aerodynamisch geformt sein; sie müssen dem Sonnenlicht genauso standhalten wie dem Regen oder mechanischer Belastung. Viele Vögel weisen ein farbenprächtiges Federkleid auf, das der Kommunikation zwischen Arten und innerhalb einer Art dient. Die Bedeutung des Prachtkleids vieler Vogelmannchen für die Part-

Bekanntlich sind Vögel die einzigen lebenden Tiere, die ein Federkleid besitzen. Federn sind für die meisten Vögel Voraussetzung

nerwahl während der Brutzeit ist gut belegt.

Hans-Heiner Bergmann ist ein bekannter Ornithologe, der bereits einige Sachbücher zur Biologie und über den Gesang der Vögel, aber auch über die Identifizierung von Vogelfedern geschrieben hat. Das vorliegende Federbuch ist eine Weiterentwicklung einer früheren Ausgabe von 2014/2015. Es wurde unter Mitarbeit von Ralph-Günther Lösekrug verfasst.

Jeder aufmerksame Naturbeobachter wird auf seinen Spaziergängen oder Exkursionen immer wieder auf einzelne Vogelfedern oder auf Rupfungen stoßen. Einige Vogelarten haben charakteristische Federn, die man leicht erkennen kann, z. B. die Flügel- und Schwanzfedern des Wiedehopfs. Aber bei vielen Kleinvögeln ist die Bestimmung der Federn schwierig. Hierfür benötigte, spezielle Informationen findet man inzwischen auf diversen Internet-Plattformen. Wer jedoch lieber ein Buch zur Hand nimmt, ist mit dem neuen Federbuch von H.-H. Bergmann gut beraten, auch wenn es die Federn von nur 130 Singvogelarten enthält. Schade, dass die meist größeren Nicht-Singvögel fehlen, denn oft findet man gerade von ihnen Federn. Den Federtafeln ist eine kurze Einführung in den Aufbau und die Funktion der Federn vorangestellt.

Federn werden traditionsgemäß auf Karton aufgeklebt, wobei eine feste Reihenfolge der Federn der Arm- und Handschwingen und des Schwanzes (Steuerfedern) eingehalten wird. Meist werden auch die Federn des Kleingefieders dokumentiert. Das Federbuch enthält gute Fotodokumente der Federtafeln von 130 Singvögeln. Dazu gibt es eine Seite Text mit weiteren Erklärungen zur Biologie der betreffenden Art sowie Einzelheiten zu den Federn, z. B. deren Länge, die für die Identifizierung wichtig sein kann. Leider sind in diesem Buch nur die Federn eines einzelnen Individuums einer Art dokumentiert. Das kann bei

Arten, deren Jugendgefieder sich vom Alterskleid unterscheidet oder deren Geschlechter einen Dimorphismus zeigen, Bestimmungsprobleme verursachen. Hier kann aber ein Besuch der einschlägigen Internet-Plattformen weiterhelfen. H.-H. Bergmann hat mit diesem gut lesbaren, kompetenten und optisch sehr ansprechendem Sachbuch eine wichtige Einführung in die Federkunde der mitteleuropäischen Singvögel vorgelegt, der man weite Verbreitung wünschen kann.

*Michael Wink, Heidelberg*

### Das große Buch der Vogelfedern.

Die Singvögel Mitteleuropas.  
Hans-Heiner Bergmann,  
AULA-Verlag, Wiebelsheim, 2023,  
296 S., 78,00 Euro, ISBN 978-3-89104-851-1.

## NATURSCHUTZ

### Mäzene als Mutmacher



Mit dieser multimedialen Dokumentation über erfolgreiche Natur- und Arterhaltungsprojekte beschreibt der studierte Diplompolitologe Rainer

Nahrendorf in gewisser Weise Neuland, denn er stellt anschaulich das Engagement von Naturliebhabern und Naturschützern vor, die als „Mäzene“ – Sponsoren, Stifter und Spender – zum Gelingen des jeweiligen Vorhabens maßgeblich beigetragen haben. Dabei bilden Naturbildung und Naturerlebnisse vor dem Hintergrund von Arterhaltungsprogrammen für bedrohte Pflanzen- und Tierarten das „Dach“. Nicht nur die häufig in diesem Kontext auftauchenden Feldhamster und Insekten zählen zu den „Hauptdarstellern“, sondern zum Beispiel auch der Bartgeier, die Waldtrappe, Spatzen

sowie der Wiedehopf. Neben monografischen Fakten lernt man in dem Buch die betreffenden Naturschutzeinrichtungen – so die „Grüne Schule“ des Botanischen Gartens in Bonn, den Verein „Land unter“, die Loki-Schmidt- sowie die Succow-Stiftung – genauer kennen. QR-Codes ermöglichen den direkten Zugriff auf die Kooperationspartner. Auch Podcasts und viele weitere optische und akustische Medien können auf diese Weise abgerufen werden. Die Fotos geben ebenfalls Einblicke in die Projekte. Wer sich von den Umweltprojekten selbst überzeugen möchte, kann viele der vorgestellten Einrichtungen besuchen und weitere Informationen vor Ort erhalten. Im Anhang gibt der Autor schließlich noch wertvolle Steuertipps für Spender, Stifter und Sponsoren – gerne als „Aufruf mit Augenzwinkern“.

Das Buch macht Mut, denn es zeigt, dass gezielter Naturschutz mit Herzblut und den richtigen Menschen im Hintergrund eine wesentliche Säule zur Erhaltung sowie zum Schutz von Natur und Umwelt bildet.

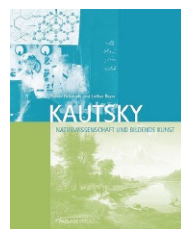
*Christiane Högermann, Osnabrück*

### Naturmäzene.

Stifter, Spender, Sponsoren für den Schutz der Natur, Rainer Nahrendorf, Selbstverlag, Neuss, 2023, 204 S., 24,95 Euro, ISBN 9783-384-02772-9

## BIOGRAFIE

### Umtriebige Gelehrtenfamilie



Rainer Behrends, ehemaliger Kurator des Kulturbesitzes der Universität Leipzig, und Lothar Beyer, ehemaliger Professor für Anorganische Chemie an der Leipziger Universität, haben gemeinsam einen

Band über die Gelehrtenfamilie Kautsky beim Passage-Verlag veröffentlicht. Das relativ großformatige Werk mit einem Umfang von 160 Seiten stellt die Lebensleistungen der Familie Kautsky vor, die im 19. und 20. Jahrhundert das künstlerisch-kulturelle und wissenschaftliche Leben in Europa maßgeblich mitgeprägt haben. Man mag sich kritisch fragen, warum zu Zeiten von Wikipedia ein solches Buch nötig ist. Wer aber das Buch in die Hand nimmt und mit der Lektüre beginnt, wird schnell fasziniert sein. Es ist den Autoren gelungen, nicht nur eine umfangreiche Familienealogie mit den dazugehörigen Lebensdaten zusammenzustellen, sondern ausgewählte Protagonisten durch deren eigene Dokumente (Bilder, Texte, Publikationen) vor den Augen des Lesers lebendig werden zu lassen. Über sechs Generationen streckt sich die Kautsky-Dynastie mit über 50 Persönlichkeiten, von denen elf der naturwissenschaftlichen und jeweils acht der bildnerisch-künstlerischen bzw. der gesellschaftlich-politischen Linie zuzuordnen sind. Schon hier fällt auf, dass die Kautskys fast durchgängig nicht nur ihr eigenes Metier exzellent vorantrieben, sondern den geistigen Familienhorizont immer im Auge behielten, die gesellschaftlichen Prozesse ihrer Zeit genau reflektierten und diese Überlegungen in ihrem Handeln berücksichtigten. Die Autoren verlieren sich aber nicht in Familiengeschichte, sondern stellen einige besonders herausragende Persönlichkeiten mit ihrem Werk im Detail vor. Unter den bildenden Künstlern werden insbesondere die Werke des Kunst- und Bühnenmalers Johann Kautsky, seiner Söhne Hans Josef Wilhelm und Fritz (beide Bühnentechniker und -ausstatter) sowie seiner Enkel Robert (Ausstattungsleiter der Wiener Staatsoper) und Urenkel dokumentiert. Das vorgelegte Bildmaterial ist von guter Qualität und dokumentiert hervorragend die künstlerische Qualität der Arbeiten.

So ergibt sich für den Leser ein kontinuierliches Entwicklungsgeschehen der europäischen Landschaftsmalerei und Bühnentechnik, ohne die die europäische Opernkultur kaum denkbar gewesen wäre. Auf dem Gebiet der Naturwissenschaften sind besonders die Leistungen auf anorganisch-biochemischem Gebiet durch den Chemiker Hans Wilhelm Kautsky sen. zu nennen, dessen Sohn Hans Kautsky jun. später Forschungsleiter auf dem berühmten Forschungsschiff „Meteor“ wurde. Über vier Generationen bereicherten die Kautskys die Meeresforschung. Im frühen 20. Jahrhundert (Fritz und Gunnar) standen Geologie und Paläontologie im Fokus ihres Interesses, während die späteren Generationen, insbesondere Hans „Hasse“ und Lena Kautsky im 21. Jahrhundert als Professoren der Ozeanographie die Biologie im Blick hatten. Es ist für einen Biologen faszinierend zu entdecken, wie in einer Forscherfamilie die Ideen und Konzepte der modernen Meeresbiologie (der Wert phylogenetischer Studien, marine Kohlenstoffbudgets, Verteilung und Fortpflanzungszyklen mariner Braunalgen) entwickelt wurden. Schon früh werden von Nils Kautsky die Probleme der Überfischung und die Eutrophierung der Meere erkannt und erforscht.

Für mich als Pflanzenphysiologe ragt naturgemäß die Persönlichkeit des Chemikers Hans Kautsky hervor, der in dem Buch besonders detailliert dargestellt wird. Die Breite seiner Forschung ist beeindruckend: Er begann mit der Erforschung des Siloxens und seiner Derivate, die ihn dazu anregte, sich auch anderen Molekülen zu widmen, die die Erscheinung der Chemolumineszenz aufwiesen. Dadurch kam er zu der Frage, wie sich an Grenzflächen Energieumwandlungen vollziehen. Dabei zeigte er erstmals den Zusammenhang von Singulett-Sauerstoff und Photosensibilisierung auf – ein

Prozess, der in der Biologie nicht nur in der Reaktion der Pflanzen auf Umweltstress von Bedeutung ist, sondern auch in der Medizin bei der Kanzerogenese. Die Beobachtung der Photosensibilisierung führte H. Kautsky dann zur Beschreibung und kinetischen Auflösung der Chlorophyllfluoreszenz an lebenden Blättern im Jahr 1934 (zusammen mit H. Hirsch). Der quantitative Zusammenhang zwischen Chlorophyllfluoreszenz und photosynthetischer Kohlendioxidassimilation ging als Kautsky-Effekt in die Wissenschaftsgeschichte ein. Zur Dokumentation dieser Lichtinduktionskurve musste der Chemiker noch eine Apparatur bauen (publiziert zusammen mit H. Spohn), die eine dafür ausreichende zeitliche Auflösung besaß. Sucht man in Google Scholar nach Zitaten über diesen Effekt erhält man über 50.000 Treffer. Die Zahl wäre um ein Vielfaches höher, wären die Arbeiten aus dem Jahr 1934 mit digitaler Verfügbarkeit in Datenbanken eingetragen. Ohne die Nutzung des Kautsky-Effektes wäre unser Wissen über die marine Primärproduktion und damit der Beitrag der Ozeane zur Klimaentwicklung nur grobe Schätzung – ganz zu schweigen von dem Nutzen für die Industrie, die heute mit Chlorophyllfluoreszenzgeräten ihr Geld verdient. Hier zeigt sich für mich beispielhaft, dass wirklich wichtige Erkenntnisse an Grenzflächen wissenschaftlicher Disziplinen stattfinden. Ohne das Interesse des Chemikers an physikalischen Effekten, die von biologischen Systemen ausgehen, wäre diese Erkenntnis nicht in den Blick gekommen. Die intellektuelle Haltung „der Suche nach Grenzerfahrung“ ist kaum denkbar ohne ein entsprechendes geistiges Umfeld. Das hier vorgestellte wunderbare Buch liefert nicht nur die Fakten der wissenschaftlichen Leistung, sondern gibt uns Einblick in Hans Kautskys „Geisteswelt“. Ich will schließen

mit zwei für mich beeindruckenden Zitaten aus dem Lebenslauf von H. Kautsky:

*„Dann kam 1933, das Ende der schönen, freien wenn auch wirtschaftlich schweren Zeit. Das wurde mir bald klar, als ich eines Tages am Eingang des Heidelberger Chemischen Instituts ein großes Plakat las: „Wir brauchen keine Intellektuellen, wir brauchen Menschen aus Fleisch und Blut“ und die Aufschrift „Dem freien Geiste, aber deutschen Geiste.“ ... Ich konnte es nicht fassen, als ich merkte, dass eine Lüge, zehnmal wiederholt, zur Wahrheit und hundertmal wiederholt, zum Dogma für viele wurde.“*

1945 schrieb H. Kautsky in einem Aufsatz: *„Die Wissenschaft ist eine gefährliche Macht, die nicht in ungerechte Hände gelangen darf. Sie muss ein Werk des Aufbaues und nicht der Zerstörung sein. Sie hat eine soziale Verantwortung, die darin besteht, bessere, glücklichere und gesündere Lebensbedingungen für Alle zu schaffen, und den wertvollen, guten Anlagen der Menschen zur Entwicklung zu verhelfen. Es ist unfassbar, dass trotz der großen Einsicht und Fortschritte auf allen Gebieten es noch nicht gelungen ist, auch nur die primitivsten Lebensbedingungen, Nahrung, Bekleidung, Wohnung, Unterricht jedem Menschen in ausreichendem Maße zu gewährleisten.“*

Diese Sätze Hans Kautskys sind nach fast 80 Jahren noch immer so aktuell als wären sie für heute geschrieben worden.

*Christian Wilhelm, Leipzig*

### **Kautsky.**

Naturwissenschaft und Bildende Kunst. Rainer Behrends, Lothar Beyer, Passage-Verlag, Leipzig, 2023, 160 S. 24,50 Euro, ISBN 978-3-95415-148-6.

## MEDIZIN

## Kurioses über den Körper



Warum altert unsere Leber nicht? Macht Schlafmangel dick? Wieso senden alle Menschen radioaktive Strahlung aus? Kann man rie-

chen, dass jemand krank ist? Sind Personen, die schneller gehen, biologisch jünger? Und können wir unserem Gedächtnis immer trauen? Diesen und vielen weiteren Fragen geht Jürgen Brater in seinem neuen Buch „Verblüffendes Körperwissen“ auf den Grund. Auf jeweils zwei Seiten nimmt er sich eines Themas an. Oft sind dies Fragen, die uns im Alltag begegnen, beispielsweise ob der viel zitierte Verdauungsschnaps tatsächlich beim Verdauen hilft oder warum Gähnen ansteckend ist. Gelegentlich erfährt man aber auch Unerwartetes, zum Beispiel, dass eineiige Zwillinge ein Junge und ein Mädchen sein können.

Das Buch folgt dabei keinem roten Faden. Es ist eine lockere Sammlung von 81 kuriosen Eigenschaften und Besonderheiten unseres Körpers, die ursprünglich in der Zeitschrift *Bild der Wissenschaft* erschienen sind und nun gesammelt wurden. Das Buch richtet sich explizit an Laien, ist sicher aber auch für viele Naturwissenschaftler/-innen und Mediziner/-innen interessant. Brater – selbst ein ausgebildeter Mediziner – schreibt kompakt und erklärt durchwegs verständlich, so dass kein Vorwissen nötig ist, um dieses Buch zu lesen. Fazit: Jürgen Braters Buch ist eine abwechslungs- und lehrreiche Lektüre für alle, die sich für ihren Körper interessieren und mehr darüber wissen wollen, wie er funktioniert. Die Kürze der Kapitel und die Tatsache, dass sie

leicht zu lesen sind, machen dieses Buch zu einer idealen Lektüre für zwischendurch – sei es im Bus, im Wartezimmer oder kurz vor dem Einschlafen.

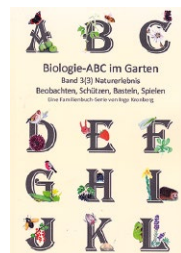
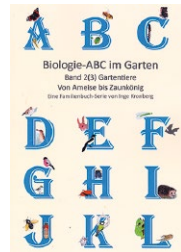
Ralf Dabm, Mainz

## Verblüffendes Körperwissen.

Jürgen Brater, Yes Publishing, München, 2024, 176 S., 12 Euro, ISBN 978-3-96905-301-0.

## GARTEN

## Zum Mitmachen



Die drei handlichen, lesefreundlichen Themenbände zu allem, was im Garten „kriecht und fleucht“, folgen einer ungewöhnlichen Konzeption, die sie von anderen Werken aus diesem Genre abheben: deutlich gemacht bereits durch das „ABC“ als große Lettern auf den Coverseiten. Die drei Bände leiten die (Familien-) Leser durch die Natur und Umwelt im Garten, also einem Ökosystem, der nahezu für alle Altersklassen und

Interessengruppen zugänglich ist und viele auf den ersten Blick unscheinbare Phänomene beherrscht.

Hinter jedem Buchstaben von A-Z verbergen sich auf einer Doppelseite Gartenbewohner, Lebensgemeinschaften sowie dazu passende fachliche Hintergründe – frei nach dem Prinzip: „Was ich immer schon gerne über ... wissen wollte“. Vor-

wiegend in Band 3 werden diese Sachinformationen durch Beobachtungsaufgaben, Bastel- und Spielvorschläge aufgelockert. Insgesamt wird das Ökosystem Garten umfassend fachlich transparent gemacht, jedoch nicht auf die herkömmliche „belehrende“ Weise – bei vielen Details wird es im wahrsten Sinne des Wortes „unter die Lupe genommen“.

Ein Markenzeichen fällt sofort beim ersten Durchblättern auf: die von der Autorin liebevoll gezeichneten, detailtreuen, oftmals angenehm kindgerecht reduzierten Pastellzeichnungen der Naturobjekte in Kombination mit erläuternden Computer-Vektorgrafiken. So könnten beispielsweise das Eichhörnchen am Futterhaus und die junge Elster auch ein Kinderbuch schmücken. Daneben finden sich klare Schemata zu Überwinterungstechniken von Eichhörnchen, weiteren Säugetieren, Amphibien und Zugvögeln bzw. im Kontext mit der Elster ein Vergleich der Stimmorgane von Vögeln und Menschen.

Die Gartenführer laden zum Erkunden und Mitmachen ein. Sie erfüllen voll und ganz die Ziele der Autorin, den Garten als Refugium, Ruhepol, Erkundungsraum und artenreichen Lebensraum zu erleben, gemäß dem Zitat von Konrad Lorenz: „Man schützt nur, was man liebt, man liebt nur, was man kennt.“

Christiane Högermann, Osnabrück

## Biologie-ABC im Garten.

Eine Familienbuch-Serie. Inge Kronberg, Verlag Naturverstehen, Büsum, 2024, pro Band 14 Euro.

Bd 1: Gartenpflanzen – Von Apfel bis Zwiebel, ISBN 978-3-91132-503-5.

Bd 2: Gartentiere – Von Ameise bis Zaunkönig, ISBN 978-3-91132-504-2.

Bd 3: Naturerlebnis – Beobachten, Schützen, Basteln, Spielen, ISBN 978-3-91132-505-9.

## PARTNER DES MENSCHEN

## Der Apfel als Lebensbegleiter

*Der Apfel begleitet mich mit seinen unterschiedlichen Aspekten und Bedeutungen zeitlebens – von meiner Kindheit durch die Lehr- und Berufsjahre bis in den Ruhestand. Während auf dem nun bald 60jährigen gemeinsamen Weg anfangs das Geschmackserlebnis im Vordergrund stand, rückte mit der Zeit die Bewahrung der Sortenvielfalt immer mehr in den Vordergrund.*

In der Kindheit entdeckte ich die geschmackliche Vielfalt der Äpfel – süße, saure, die dickschaligen, bitteren und mehligten. Wir wussten genau, welche die schmackhaftesten waren und wo diese gediehen (Abbildung 1). Damit verbunden waren die ersten Apfeldiebstähle und der Überkonsum von frischem Apfelsaft mit den entsprechenden Konse-

„In Küche und Keller sind die geschichtlichen Abschnitte nebeneinander anzutreffen. Wir essen und trinken uns mühelos durch die Jahrhunderte.“ – Zitat aus [1]



**ABB. 1** Kleine Auswahl an Apfelsorten (von oben nach unten): Graue portugiesische Renette, Ananasrenette, Berlepsch, Jonathan, Königlicher Kurzstiel. Foto: P. Enz.

quenzen. Für Apfelsaft werden saftige, zucker- und säurereiche Äpfel verwendet, sogenannte Mostobstsorten. Für Gärmoste und Essige gehören hoher Bitter- und Gerbstoffgehalt als Qualitätsmerkmal dazu. Sie helfen die Lagerzeit des Getränkes zu verbessern. Je nach Region werden Gärmoste, Apfelweine und Cidre mit unterschiedlichem Alkoholgehalt, Restsüße, Kohlensäure etc. produziert (Abbildung 2).

Ernährungstechnisch ist der nicht-pasteurisierte Gärmost interessant: Er enthält Vitamin C und durch Hefegärung entstandenes Vitamin B12; letzteres ist bei geringem Fleischkonsum wichtig. In den USA wurde früher der *hard cider* produziert. Dazu wird im Winter der Gärmost der Witterung ausgesetzt: Durch die natürliche Phasentrennung gefriert ein Teil des Wassers an der Oberfläche. Das Eis wird entfernt

und dieser Prozess einige Male wiederholt, bis nichts mehr gefriert. Der übrig gebliebene Apfelschnaps hat einen Gehalt um 33 Prozent Alkohol ohne Destillation!

In der heutigen Gastronomie spielen nur Geschmack, Aroma, Konsistenz des Fruchtfleisches und Verfügbarkeit der speziellen Sorten eine Rolle. Mit moderner Technik lassen sich unglaubliche Aromen, Geschmacksrichtungen und Konsistenzen herstellen. Im Berner Kochbuch von 1836 wurden „Renetten, Calwyler und Grauecher für Apfel-Compot“ empfohlen, welcher mit Geflügel und Fischen genossen werden konnte.

In meiner Lehrzeit als Baumschulist lernte ich die Sortenvielfalt und die Kultur von Obstbäumen kennen und meine Sammelleidenschaft begann. Ich lernte Vieles zum Boden, zur Bestäubung, Pflege der Bäume, Ernte und Lagerung kennen. Viele *Malus*-Arten und deren Sorten sind auch weitverbreitet als Zierpflanzen (Abbildung 3). Der heutige Kulturapfel hat noch seinen ursprünglichen Chromosomensatz ( $2n = 34$ ); wenige Ausnahmen haben einen triploiden oder tetraploiden Chromosomensatz.

Wegen der nötigen Fremdbefruchtung sind Aufblühfolge, Anwe-



**ABB. 2** Verschiedene Sorten von Apfelschaumwein (Cidre) in Südwest-England. Foto: P. Enz.



senheit von geeigneten Befruchtersorten und entsprechende Insekten entscheidend. Die Blüten sind streng vorweiblich, das heißt weibliche Geschlechtsorgane reifen vor den männlichen. Triploide Sorten sind als Pollenspender ungeeignet. Plinius der Ältere (24–79 n. Chr.) kannte bereits 30 Edelsorten und hat deren Vermehrungsmethoden beschrieben. Weltweit existieren um die 20.000 Apfelsorten. In England wurden 2000 Apfelsorten getestet, davon waren 200 triploide und 32 tetraploide Sorten.

Sorten aus milderer Lagen benötigen von der Blüte bis zur Frucht- reife bis zu 180 Tage, Sorten aus klimatisch kühlen oder kalten Lagen nur 120 Tage. Letztere eignen sich demnach auch für Höhenlagen mit kurzer Vegetationszeit. Zur Frucht- reife erklärte Karl Stoll unter anderem, dass sie anhand der geschlossenen Kelchröhre bestimmt wird: „aus der Kelchgrube sollte man Schnaps trinken können“ !!

Die relevantesten Kriterien zur Sortenbestimmung sind die Formen (inkl. Rippung) der Früchte, Kelch- und Stielgrube (inkl. Kelchzipfel), Farbton und Muster der Deckfarbe, Lentizellen (Poren im Kork für den Gasaustausch), Fleischfestigkeit, die Körnung sowie Geschmack, Aroma und Reifezeit (allerdings durch den Klimawandel verändert im Vergleich zur herkömmlichen Literatur).

Äpfel, Birnen und Quitten sind Rosaceen mit Scheinfrüchten (der Fruchtknoten wird vom umgebenden Blütenbodengewebe umwachsen) im Gegensatz zu Hagebutten, Weißdorn und Vogelbeeren (inkl. Speierlinge), die echte Früchte bilden.

Die Radiation der apfelartigen Rosaceen begann vor ca. 50 Mio. Jahren, die Chromosomenzahl erhöhte sich von 9 auf 17, wie sich bei der Sequenzierung des Genoms der Sorte *Golden Delicious* herausstellte. Dadurch begann die Aufspaltung von spezialisierten Arten (*Amelanchier*, *Aronia*, *Pbotinia*, *Crataegus*, *Mespilus*, *Malus*, *Pyrus*,

*Eriobotrya* etc.) als Anpassung an die Umwelt. Als Urform vom Kulturapfel *M. domestica* ist *M. sieversii* (Asiatischer Wildapfel mit süßen Früchten) mittels molekulargenetischer Analysen bestätigt. Vor der Eiszeit bestand auf der nördlichen Halbkugel zwischen 25° und 52° ein Band aus einem eisfreien tertiären Laub- und Nadelwald, in dem auch die *Malus*-Arten gediehen. Der genetische Hotspot von *Malus* befand sich in SW-China. In Asien und Nordamerika existieren je nach systematischer Auffassung 25 bis 55 Arten der Gattung *Malus*, die im ozeanischen und subozeanischen Klima gedeihen.

### Über die Seidenstraße nach Europa

Das heutige isolierte Vorkommen von *M. sieversii*-Fruchtwäldern reicht vom Tian-Shan-Gebirge in der chinesischen Region Xinjiang bis in den Kaukasus; diese Fragmentierung fand durch zwischenzeitliche einzelne Vereisungen und Wüsten statt. So hatten *M. sieversii*-Sorten Zeit und Raum zum Hybridisieren und haben dabei Inkompatibilitätssallele entwickelt. Biologisch hatte dies den Vorteil, dass praktisch nur Fremdbefruchtung stattfand. Bei großer Anzahl unterschiedlicher Klone hat sich in Bezug auf Formen, Größen und Farbe eine unwahrscheinliche Vielfalt zu Gunsten der späteren Kulturäpfel entwickelt (Abbildung 4).

*M. sieversii* steht auf der Roten Liste der Weltnaturschutzunion (IUCN) als gefährdete Art. Er kommt nur in Kasachstan, Kirgisistan, Tadschikistan, Usbekistan und in der chinesischen Region Xinjiang vor. Allein in Kasachstan verringerte sich der Bestand der Wildäpfel in den letzten 30 Jahren um 70 Prozent. Am 20. Juli 2016 erklärte die UNESCO das westliche Tian-Shan-Gebirge zum Weltnaturerbe. Besonders für die angrenzenden Regionen Kasachstan und Kirgisistan sind das gute Neuigkeiten, weil das Gebirge verschiedenste Landschaften um-

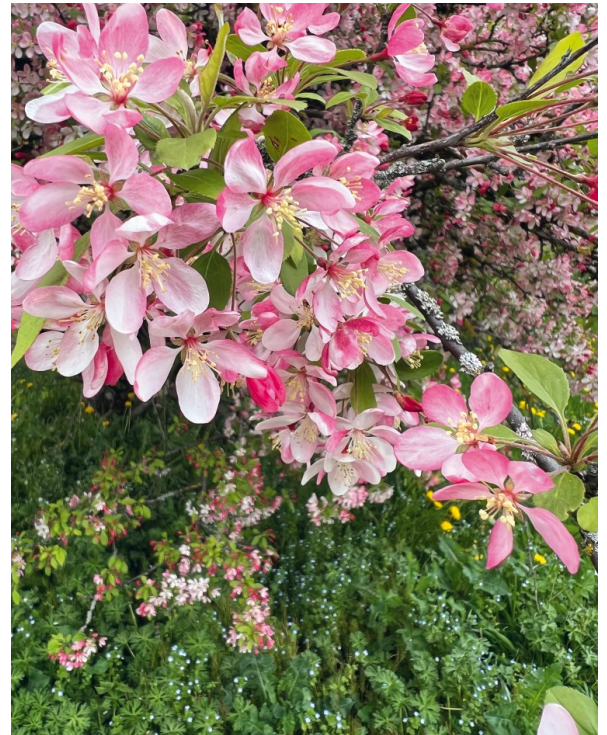


ABB. 3 Wegen ihrer schönen Blüte werden Äpfel oft auch als Zierbäume gepflanzt: hier ein Vielblütiger Zierapfel (*M. floribunda* Siebold ex Van Houtte). Foto: P. Enz.



ABB. 4 Genetische Vielfalt bei *M. sieversii* in Kirgisistan. Foto: Marianne Fritzsche.

fasst und einen außergewöhnlichen Artenreichtum beherbergt. Es besitzt außerdem globale Bedeutung als Ursprung einiger Früchte und einer großen Vielfalt von Wäldern.

Die Apfelvielfalt gelangte wie auch bei *Citrus*-Arten und Pflirsichen durch die alten Kulturen (Chinesen, Perser, Griechen und Römer) via



**ABB. 5** Die amerikanische Sorte *Golden Delicious* gelangte erst 1928 nach Europa. Foto: David Szalatnay.

der Seidenstrasse nach Europa. Die Größe der *Malus*-Früchte deutet auf eine Verbreitung durch pflanzenfressende Säugetiere hin. Interessanterweise überleben die Apfelsamen die Wanderung durch den Darm bei den Pferden, nicht aber bei den Kamelen, die Wiederkäuer sind. Am Ende der Handelsstraße im Gebiet Euphrat, Tigris und Nil wurden die Bauern sesshaft und kultivierten auch Obstbäume.

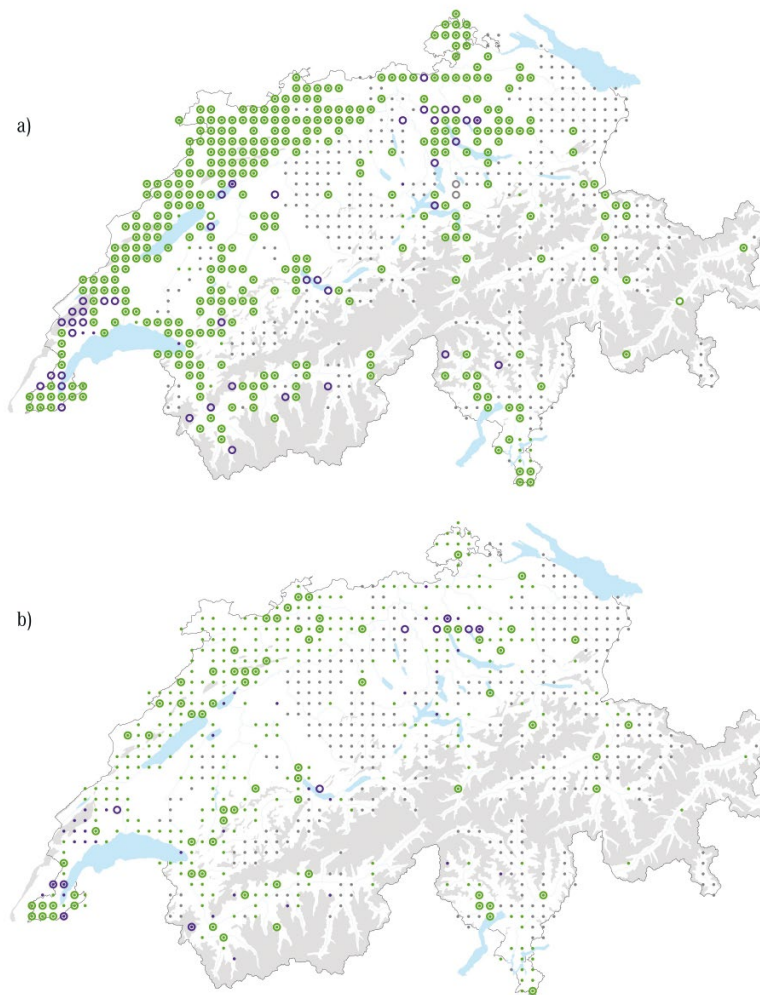
Mit den Römern verbreiteten sich die Äpfel und andere Früchte. Nach dem Untergang des Römischen Reiches übernahmen die Klöster die „pomologische Nachfolge“. Der Gründer des Benediktinerordens Benedikt von Nursia (um

529) gilt als erster Förderer des Obstbaus; er empfahl erstmals Äpfel als Dessert. Ab dem 6. Jh. wurde Obstfrevl und Pfropfreiser-Diebstahl in Franken bereits bestraft! Im Mittelalter regte Karl der Große den planmäßigen Obstanbau an, insbesondere Birnenanbau.

Der Weg des Apfels von Tian-Shan nach Westeuropa dauerte 6000 Jahre, aber nur 300 Jahre nach Übersee und zurück. Die Früchte waren bei den europäischen Seefahrern immer mit auf den Schiffen, bevor man Zitronen zur Verfügung hatte, um die Versorgung mit Vitamin sicherzustellen und Skorbut zu bekämpfen. Die amerikanische Sorte *Golden Delicious* (Abbildung 5) entstand 1896 und gelangte aus Amerika 1928 nach Europa, genauer in die Schweiz (Graubünden). Bis ca. 1850 waren die meisten Apfelsorten Zufallssämlinge und sind durch Gärtner selektiert worden. Die heutige Züchtung muss Geschmackstrends und Farben der nächsten 15 bis 20 Jahren erahnen, so dass gezielte Kreuzungspartner ausgewählt werden können. Aber auch Produktion und Vermarktung dürfen dabei nicht vernachlässigt werden. Die modernen Sorten erhalten einen Sortenschutznamen, welcher weltweit gültig ist. Dadurch erhält der Züchter Lizenzgebühren.

Mit dem erlangten Wissen **während der Studentenzeit** gewann die vergessene Obstsortenvielfalt mit ihrer lokalen Verbreitung für mich eine erhöhte Bedeutung. Die über Jahre gewonnenen Fruchtqualitäten und deren Verwendung wurden zur Tradition in der Geschichte des Apfels.

Mit den Agrarreformen entstanden ab ca. 1750 in Mitteleuropa „organisierte“, wirtschaftliche Streuobstgärten (Herren von Marschlin und von Fellenberg in der Schweiz). In Deutschland gehörten z. B. Albrecht Daniel Thaer, Alexander von Humboldt und Justus von Liebig zu den bedeutenden Agrarreformern. In den 1960er Jahren verfielen die alten Sorten in das Mauerblümchen-Da-



**ABB. 6** Der Holzapfel (*M. sylvestris*) ist in Zentraleuropa in den letzten 30 Jahren sehr selten geworden. a) Vorkommen 1993, b) Vorkommen 2023. Quelle: [www.infoflora.ch](http://www.infoflora.ch).

sein. Die offiziellen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten mussten sich um „das Moderne“ kümmern. Wachsame NGOs wie Pomologen-Vereine, Arche Noah, Croqueurs de Pommes, FRUCTUS und Pro Spezia Rara – später auch staatliche Organisationen (Schweizerische Kommission für die Erhaltung von Kulturpflanzen (SKEK), Julius-Kühn-Institut und *International Plant Genetic Resources Institute* (IPGRI) als Unterorganisation der *Food and Agriculture Organization* der UN) – begannen sich um den wertvollen genetischen Schatz zu kümmern. Die Bedeutung des vergessenen Genmaterials als Ressource für Züchtung und Anpassung an Klimawandel, Schädlinge und Krankheiten wurde bewusster wahrgenommen.

Im Ursprungsgebiet von *M. sieversii* gibt es kaum noch alte Sorten; die neuen Sorten *Golden Delicious* und *Red Delicious* lösten die ehemalige Vielfalt ab, mit Ausnahme vielleicht der Sorte Apont (russische Kreuzung mit *M. sieversii* um 1865). Von 2021 bis 2023 initiierte die Deutsche Bundesstiftung Umwelt ein Projekt, welches die Ökosystemleistungen inkl. dem Erhalt der Vielfalt durch den Erhalt der ursprünglichen Apfelwälder untersucht.

Mit dem Älterwerden, den **Wanderjahren im Ausland** und der **Gründung einer Familie** galt es immer öfter, Abschied zu nehmen von Menschen, die sich um den Apfel verdient gemacht hatten. Damit verbunden war der Verlust von Wissen, Brauchtum und Tradition. Als Reaktionen entstanden viele regionale, nationale und internationale Sorten-Inventarisierungsprogramme. Zum Aufzeigen der Obstvielfalt wurden landauf landab Fruchtausstellungen organisiert. Das Brauchtum und Wissen zum Obst wurde dank mündlichen, bildlichen und schriftlichen Überlieferungen erhalten. Aus der Jungsteinzeit existieren Funde des Holzapfels (*M. sylvestris*), aus späterer Zeit auch in Anatolien und Jordanien. Die jungsteinzeitlichen Pfahlbauer

verstanden es, den „ungenießbaren“ Holzapfel durch Auslese zu verbessern. Heute ist *M. sylvestris* mit dornigen Kurztrieben in Zentraleuropa sehr selten (siehe Vergleich 1993 und 2023, Abbildung 6). Viel häufiger findet man Sämlinge von *M. domestica* in unserer Landschaft. Trotzdem ist der Holzapfel (*Malus sylvestris*), wie neueste Genuntersuchungen belegen, nicht die Stammform unseres Kulturapfels. Letzterer stammt direkt von der großen Vielfalt des Asiatischen Wildapfels (*Malus sieversii*) ab – möglicherweise auch durch Einkreuzungen des Kaukasusapfels (*Malus orientalis*).

**Seit meiner Pensionierung** interessiert mich vermehrt das Geschichtliche, Volkskundliche und Gesellschaftliche rund um den Apfel. So fand dieser nach seiner Ankunft in Europa seinen sofortiger Eingang in den Alltag (Lyrik, Poesie, bildende Kunst, Musik, Mythologie und Philosophie). Zu Beginn des 19. Jh. entstanden die ersten bebilderten Sortenbücher und dreidimensionale Früchte aus Pappmaché oder Wachs (sog. Obstsorten-Kabinette). Die Porzellanmanufaktur Arnoldi aus Thüringen produzierte unzählige Früchte aus Porzellan. Bis 1899 wurden so 150 Serien à 456 Sorten hergestellt. Zwölf Serien sollen in Europa noch bekannt sein. Aus Apfelholz sollen außerdem besondere Wünschelruten hergestellt worden sein. Aus dem Holz alter Hochstämme werden wunderbare Möbel und Spielzeuge durch Kunsthandwerker gefertigt (Abbildung 7).

Von zwei Literaten ist bekannt, dass sie einen besonderen Zugang zu Äpfeln hatten: Schiller soll immer einen faulen Apfel in seiner Schreibtischschublade gehalten haben, weil sein Duft ihn inspiriert haben soll. Und Goethe liebte die Tafelobstsorte Goldparmäne. Auch sprachlich haben „Äpfel“ Eingang gefunden: Im australischen Slang bedeutet der Ausdruck „*she'll be apples*“ beispielsweise, dass eine Person/etwas in Ordnung sein wird, wenn zuvor Zweifel bestanden.

## WISSENWERTES ZUR ZÜCHTUNG

Wegen der ausgezeichneten Qualität des Golden Delicious sind seine Gene in fast allen modernen Züchtungen zu finden. Durch die Einkreuzung wird eine Konstanz der Vermarktungs- und Essensqualität garantiert. Dies birgt aber auch die Gefahr, dass durch die einseitige Genetik Krankheiten und Schädlinge überhand nehmen können. Die große Vielfalt an Apfelsorten wird heute meistens in Sammlungen als genetische Ressourcen für die Züchtung erhalten.

In Diktaturen ging Wissen über die Züchtung des Apfels verloren. So wurden unter Stalin falsche Vererbungslehren verbreitet (u. a. wurde das Mendelsche Gesetz abgelehnt) und es verschwanden Genetiker wie Nikolai I. Vavilov und deren Unterlagen. Auch Maos Rote Garden zerstörten zwischen 1966 und 1976 Bibliotheken und Aufzeichnungen zur Züchtung von Äpfeln.



**ABB. 7** Aus altem Apfelhochstamm gefertigter Stuhl. Foto: P. Enz.

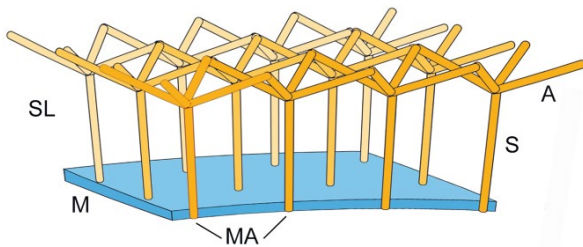
Weiter musste der Apfel hinhalten für Orts- und Straßennamen, Redensarten, Symbole und für die Benennung anderer Pflanzen wie *Citrus sinensis* (Apfelsine, Orange), für *Punica granatum* (Granatapfel) und *Lyopersicum esculentum* (Pomo d'Oro, Tomate, Paradiesapfel), *Solanum tuberosum* (Erdäpfel), *Ananas comosum* (Pineapple) und den Schlauchapfel (Banane in der Nazi-Zeit).

Peter Enz, Gartenbau Ing. FH/HTL, FRUCTUS-Vorstandsmitglied, ehemaliger Leiter des Botanischen Gartens Universität Zürich und ebem. Präsident Botanische Gärten der Schweiz, gentiana@ggaweb.ch

## MIKROBEN VERSTEHEN

## Wie die Zellwand von Archaeen ihre Funktion ausübt

*Fast alle Archaeen besitzen eine einfache Zellhülle aus Zellmembran und einer regelmäßig strukturierten Proteinschicht, dem Surface- oder S-Layer. Das Proteingitter umhüllt die Zelle vollständig und übernimmt die elementare Funktion einer Zellwand, indem es Kräfteinwirkungen auf die Zellmembran kompensiert und sie stabilisiert. Wie der S-Layer diese Aufgabe bewerkstelligt, wird verständlich, wenn man das Zusammenspiel zwischen Membran und Proteingitter betrachtet.*



**ABB. 1** Schema eines tetragonalen S-Layers von Archaeen. S-Layerprotein (SL) mit Stiel- (S) und Armelementen (A). Die Stiele sind in der Membran (M) mit hydrophoben Membranankern (MA) inseriert; die Arme benachbarter tetragonaler Einheiten (Einheitszellen) verbinden sich nicht-kovalent und bilden ein geschlossenes Proteingitter (Gitter) um die Zelle. Membran und Armdomänen begrenzen einen quasi-periplasmatischen Raum.

Illustration in Anlehnung an [8].

Es ist seit Langem bekannt, dass in bakteriellen Zellwänden das Peptidoglycannetz die dominierende Rolle für die Zellintegrität spielt. Wesentlich später erkannte man, dass auch die äußere Membran Gramnegativer Bakterien zur Stabilität beiträgt [1]. Viele Bakterien weisen außerdem zusätzlich zum Peptidoglycan und – sofern vorhanden – zur äußeren Membran eine nahezu kristallin angeordnete, äußere Proteinschicht auf: den Surface-Layer oder S-Layer. Zu dessen funktionellen Eigenschaften hat man in den letzten Jahrzehnten eine Reihe von Beispielen gesammelt und über ihre Bedeutung spekuliert [2–4]. Einen wichtigen zellstabilisierenden Beitrag erwartet man von bakteriellen S-Layern eher nicht, zumal sich in Laborkulturen mitunter Zellen durchsetzen, die ohne diese Proteinschicht auskommen. Bei Archaeen ist die Situation völlig anders. Hier

tauchen Mutanten ohne Oberflächenprotein nicht auf, denn bei den meisten bekannten Arten stellt der S-Layer die einzige Zellwandkomponente [2]. Er ist allein für die grundlegende Funktion zuständig, die Zellmembran bei Kräfteinwirkungen zu stabilisieren. Intuitiv liegt es nahe anzunehmen, dass etwa bei permanentem oder fluktuierendem inneren Zelldruck (Turgor) die Membran an den umhüllenden S-Layer gepresst und so vor dem Platzen bewahrt wird. Die Verhältnisse sind jedoch komplizierter.

### Die Stabilität des S-Layers

Typische archaeele S-Layer bestehen aus einem Proteinstiel, der mit seinem hydrophoben Ende in der Membran verankert ist, und lateralen Domänen desselben oder eines zweiten Proteinmoleküls, die sich mit benachbarten Proteineinheiten durch regelmäßige, nicht-kovalente Kontakte verknüpfen (Abbildung 1) [5]. Wenn eine nur durch die Membran umhüllte Zelle oder ein entsprechend großes Lipidvesikel einem inneren Druck ausgesetzt ist, dehnt sich die Membran aus, bis sie löcherig wird und schließlich zerreißt. Das geschieht schon bei relativ geringem Druck von ungefähr  $0,05 \cdot 10^5$  Pa (0,05 bar), was deutlich unter dem Wert des Turgors der meisten Mikroben liegt [6, 7]. Ist ein S-Layer mit seinen Stielelementen in der Lipidschicht inseriert, so nimmt die sich ausdehnende Membran die Proteinanker so weit mit, bis die lateralen Kontakte des Proteinnetzes

sowie seine begrenzte Flexibilität eine weitere Zunahme des Zelldurchmessers verhindern und der S-Layer (der Abstand zwischen benachbarten Einheitszellen des Proteingitters, im Folgenden als Gitterabstand bezeichnet) sich nicht mehr erweitern kann. Druck und Dehnung bewirken eine Zugkraft, die an den lateralen Bindungen zerrt (Abbildung 2a). Nimmt man an, dass die Kraft des Drucks  $\Delta P$  vollständig in die Zugkraft übergeht (was nicht verlustfrei geschieht), so hängt deren Betrag  $|F_B|$  für jede Bindungsstelle einer Einheitszelle im Proteingitter nur noch von der Geometrie der Zelle und des S-Layers ab, nämlich vom Radius  $R$  (einer kugeligen oder zylindrischen Zelle), dem Gitterabstand  $d$  und dem Symmetriewinkel  $\alpha$  der Einheitszelle. Die Kraft lässt sich dann durch eine einfache Formel beschreiben (Gleichung 1) [4, 6]. Dabei bezeichnet  $sym$  (mit  $sym = 3, 4$  oder  $6$ ) die Rotationsymmetrie des Proteingitters ( $p3, p4$  oder  $p6$ ) und steht hier für die Mindestzahl der Kontakte einer Einheitszelle mit ihren Nachbarn. Die noch möglichen  $p1$ - und  $p2$ -Gitter sowie zusätzliche Kontaktstellen bleiben zur Vereinfachung unberücksichtigt, folgen aber dem gleichen Zusammenhang.

Gleichung 1:

$$F_B \leq \Delta P \frac{R \cdot d \cdot \sin(\alpha)}{sym}$$

Danach beträgt die notwendige Bindungskraft für untersuchte S-Layer verschiedener Archaeen bei  $\Delta P = 10^5$  Pa (1 bar) zwischen 40 und 300 pN (Pico-Newton) pro Kontaktstelle – wobei die Werte jeweils theoretische Obergrenzen darstellen. Spezifische, aber nicht-kovalente Bindungen zwischen Proteinen in Molekülkomplexen widerstehen einer Kraft zwischen 60 und 240 pN (experimentell an einigen S-Layern gemessene zwischen 60 und 310 pN), was jeweils in der passenden Größenordnung liegt. Je nach Konstellation der Parameter kann ein S-Layer also einem (osmo-

tischen) Innendruck zwischen  $10^5$  und  $10^6$  Pa (10 bar) standhalten [4, 6]. Je kleiner  $R$ ,  $d$  und  $\sin(\alpha)$  und je größer  $sym$  sind, desto niedriger fällt die zu kompensierende Kraft  $F_B$  aus. Günstig sind folglich kleine oder dünne Zellen und S-Layer mit geringem Gitterabstand sowie hoher Symmetrie (p6). Tatsächlich beobachtet man bei Archaeen häufig S-Layer mit hexagonalem Muster [4]. S-Layer bieten also die notwendige Stabilität für die Funktion einer Zellwand. Aber wie schützen sie die Lipidmembran?

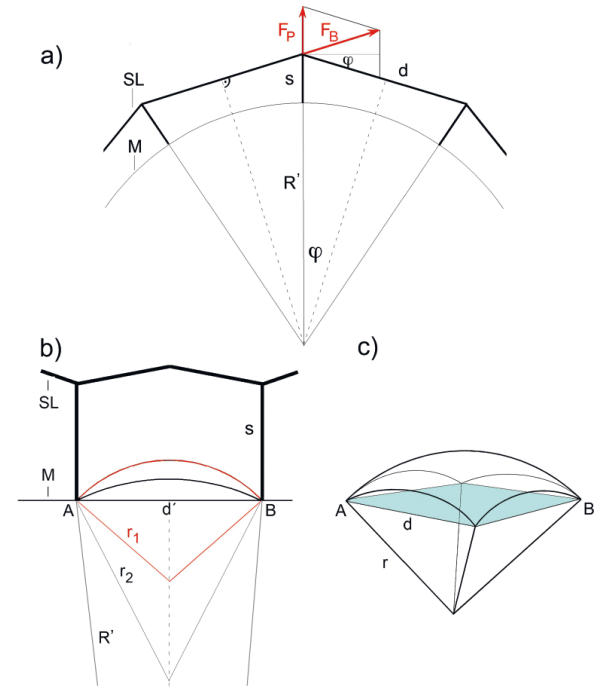
### Stabilisierung der Membran

Der einzige Kontakt zwischen S-Layer und Membran spielt sich in dem begrenzten Bereich seines Stielendes und der umgebenden Lipide ab. Der allergrößte Teil der von der Einheitszelle des S-Layers überspannten Membranfläche liegt frei und ist dem Innendruck der Zelle weiterhin ungeschützt ausgesetzt. Die Membran wird also keineswegs an die Proteinschicht gepresst; zwischen Membran und S-Layer besteht sogar eine Art periplasmatischer Raum (Abbildung 1) [3, 4]. Hat der S-Layer seine maximale Ausdehnung erreicht und widersteht noch höherem Druck, dann beult sich die Membran zwischen den Proteinankern weiter aus, aber nun begrenzt auf die freie Fläche unter den einzelnen Einheitszellen (Abbildung 2). Eine im entspannten Zustand glatte (durch die Zellform leicht vorgebogene) Membran bildet unter erhöhtem Druck ein regelmäßiges, den Einheitszellen des S-Layers folgendes Muster von Ausbeulungen, die sich theoretisch als Teilflächen kleiner Lipidvesikel mit Radius  $r$  auffassen lassen. Dieser Radius entspricht dem Biegeradius der Ausbeulungen; er ist umso kleiner, je stärker der Druck die Membran verformt (Abbildung 2b) [4, 6]. Zwischen der Dehnung einer Zellmembran ohne S-Layer und der Verformung kleiner Membranteilflächen besteht ein bedeutender Unterschied. Der Innendruck vergrößert den Biegeradius einer

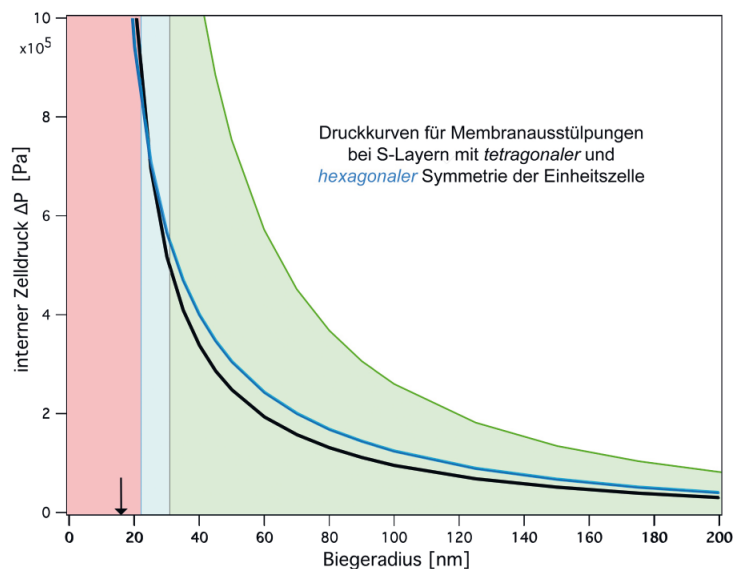
nackten Membran und dehnt ihre Fläche, wofür ein geringer Druck genügt (siehe oben). Um eine kleinflächige Ausbeulung zu schaffen, muss das Teilstück der Membran aber sowohl gedehnt als auch stärker gebogen werden, wobei sich der Biegeradius der entstehenden Ausbeulung verkleinert, was in der Summe einen höheren Druck erfordert [4, 6]. Die Unterteilung der Membranfläche in kleine (annähernd unabhängige) Einheiten durch die Verankerungen des S-Layers macht die Membran also stabiler gegenüber höherem Druck!

Der qualitativ hergeleitete Effekt ist auch quantitativ abschätzbar. Dazu muss man einige Parameter der Lipidmembran (flexibel oder steif), Grenzen ihrer Belastbarkeit, physikalische Bedingungen (Temperatur) und die Gitterparameter des S-Layers kennen (zur Berechnung siehe [4, 6]). Fasst man alle Einflussgrößen zusammen, so ergibt sich ein Zusammenhang zwischen Druck, Membrandehnung, Biegeradius (äquivalent zum Radius  $r$  hypothetischer kleiner Vesikel) und den Gittereigenschaften des S-Layers. Die Kurven in Abbildung 3 beschreiben den Druck auf die Membran in entsprechenden Ausbeulungen innerhalb kritischer Stabilitätsgrenzen [4, 6], wobei Experimente mit S-Layerbewehrten Membranen den stabili-

sierenden Effekt bestätigen [3]. Die Druckresistenz eines S-Layers und die durch ihn erworbene Wider-



**ABB. 2** Wirkung des zellulären Innendrucks auf die Zellhülle von Archaeen. a) Übergang der Druckkraft  $F_P$  in die Zugkraft  $F_B$  an einer Bindung zwischen benachbarten S-Layer-Proteinen; SL: S-Layer, M: Membran, s: S-Layer-Stiel, d: Gitterabstand,  $R'$ : Zellradius ohne S-Layer ( $R=R'+s$ ); b) Ausbeulung der Membran zwischen zwei Ankerpunkten (A, B) des S-Layers;  $d'$ : Distanz zwischen den Ankerpunkten (A, B);  $r_1$  und  $r_2$ : Biegeradien verschieden starker Ausbeulungen; c) Ausbeulung der Membran über einer tetragonalen Einheitszelle mit Ankerpunkten (A, B); d: Gitterabstand; r: Biegeradius; Fläche der Einheitszelle unter der Ausbeulung (blau).



**ABB. 3** Druckstabilität der Membran mit S-Layer. Durch Zellinnendruck hervorgerufene Membranausstülpungen von Einheitszellgröße bei S-Layern mit 15 nm Gitterabstand (Pfeil) und p4- oder p6-Symmetrie. Grün kennzeichnet den Stabilitätsbereich der Membran für das p4- und p6-Proteingitter, blau zusätzlich für den p6-S-Layer. Ausbeulungen mit Biegeradien im roten Bereich sind instabil. Die Parameterwahl zur Berechnung gilt für steife Lipidmembranen [4, 6].

standsfähigkeit der Zellmembran liegen im gleichen Bereich von etwa  $10^5$  bis  $10^6$  Pa, was dem osmotischen Druck in den meisten Mikroben entspricht [7]. Vergleicht man S-Layer mit tetragonaler und hexagonaler Symmetrie bei gleichem Gitterabstand, so ist das  $p6$ -Gitter nicht nur widerstandsfähiger, sondern verleiht der Membran auch Stabilität gegenüber höheren Kräften (Abbildung 3) [4]. Die Symmetrie des Proteingitters, welche man zunächst als reine Spielart der Proteinanordnung ansah, hat also auch funktionellen Einfluss.

Hier zeigt sich, dass das funktionelle Prinzip der Archaeenzellwand nur verständlich wird, wenn der S-Layer im Kontext mit der interagierenden Zellmembran betrachtet wird. Welche physikalischen Wechselwirkungen bakterielle S-Layer und Peptidoglycan oder äußere Membran eingehen, ist bisher kaum untersucht.

**Literatur**

[1] J. Sun (2022). Nat. Rev. Microbiol. 20, 236–248, <https://doi.org/10.1038/s41579-021-00638-0>  
 [2] H. Engelhardt (2007). J. Struct. Biol. 160, 115–124, <https://doi.org/10.1016/j.jsb.2007.08.003>

[3] U. B. Sleytr et al. (2014). FEMS Microbiol. Rev. 38, 823–864, <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12063>  
 [4] H. Engelhardt (2016). Encyclopedia Life Sci., John Wiley & Sons, Chicester, <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0021936>  
 [5] T. A. M. Bharat et al. (2021). Trends Microbiol. 29, 405–415, <https://doi.org/10.1016/j.tim.2020.09.009>  
 [6] H. Engelhardt (2007). J. Struct. Biol. 160, 190–199, <https://doi.org/10.1016/j.jsb.2007.08.004>  
 [7] H. Wennerström, M. Oliveberg (2022). QRB Discovery 3, e12, 1–10, <https://doi.org/10.1017/qrd.2022.3>  
 [8] J. Mayr et al. (1996) Curr. Biol. 6, 739–749.

Harald Engelhardt, Martinsried



**WIE? WO? WAS?**  
**BIOLOGIE STUDIEREN**

Die online Studienführer des VBIO vermitteln Ihnen den Überblick über die große Vielfalt spannender biowissenschaftlichen Studiengänge. Surfen Sie los!

[www.bachelor-bio.de](http://www.bachelor-bio.de)  
[www.master-bio.de](http://www.master-bio.de)



[www.vbio.de](http://www.vbio.de)

**Jetzt informieren!**

## AUSSERSCHULISCHE LERNORTE

## Das MaxLab erleben – zuhause oder vor Ort

*Das breite Angebot des Schüler- und Besucherlabors der beiden Max-Planck-Institute für Biochemie und für biologische Intelligenz lässt sich durch einen erweiterten Online-Bereich nun auch mit ein paar Klicks erleben. Egal ob virtuell von zuhause oder aber vor Ort in Martinsried (südwestlich von München): Das MaxLab bietet eine Vielzahl von Kursen, die alle auf aktueller Forschung der benachbarten Max-Planck-Institute basieren, spannende Einblicke in ein modernes Labor geben und dazu auf den Lehrplan abgestimmt sind. Von Schulklassen bis hin zu interessierten Erwachsenen, von der Proteinchemie bis zur Ornithologie – für alle ist etwas dabei!*



**ABB. 1** Ina Peters wertet mit Schüler/-innen des Tagespraktikums „Was die DNA verrät“ ein Agarosegel aus, um das Geschlecht von Vögeln zu bestimmen. Foto: Marius Bruer.

Stimmengewirr, Lachen, geschäftiges Treiben, konzentrierte Mienen – das beobachten wir bei einem Blick durch das Glasfenster der MaxLab-Tür. Gerade stecken die Schüler/-innen einer 11. Klasse ihre Köpfe über einem Agarose-Gel zusammen. Als Teil des Tagespraktikums „Was die DNA verrät“ versuchen sie so, das Geschlecht von Vögeln zu bestimmen. Heute werden sie nicht nur PCR und Gelelektrophorese selbst durchführen, sondern erfahren, wie diese Methoden in der Verhaltensgenetik und evolutionären Ökologie Einsatz finden. Ein Aha-Erlebnis für viele Schüler/-

innen, wenn der Schulstoff plötzlich mehr als nur Theorie ist!

Die Geburtsstunde des MaxLab schlug 2010, als Dr. Ina Peters die Öffentlichkeitsarbeit der beiden Max-Planck-Institute ergänzte. Seitdem heißt das Schüler- und Besucherlabor als fest etablierte Institution auf dem Campus Martinsried das ganze Jahr über Schulklassen, Lehrkräfte und interessierte Besucher/-innen willkommen.

In den über 15 unterschiedlichen Kursformaten ist für jede Altersstufe etwas dabei. Das Spektrum reicht von Tagespraktika für Schulklassen, Wissenschaftspropädeutischen (W)-

Seminaren und Betriebspraktika bis hin zu Lehrerfortbildungen und Volkshochschulkursen für Erwachsene. Zudem sind im Laufe der Jahre zahlreiche weitere Angebote entstanden wie der bayerische Vorbereitungskurs für die „Bioolympiade“, Kurse am „Girls' & Boys' Day“ oder die Forscherwoche in den Sommerferien für Schüler/-innen der 5.-7. Klasse. So begrüßt das MaxLab jedes Jahr mittlerweile bis zu 1000 Besucher/-innen aus dem In- und Ausland.

### Hands-on & echte Fragestellungen

Ein besonderer Schwerpunkt des MaxLab liegt auf Schulklassen der Oberstufe sowie der Förderung von besonders interessierten Schüler/-innen. „Hands-on“, also mitmachen und selbst ausprobieren, ist dabei das Motto, das sich wie ein roter Faden durch alle Kursformate zieht. PCR oder Gelelektrophorese sind nur zwei Beispiele für Themen, die in der Schule theoretisch behandelt werden und denen im MaxLab Leben eingehaucht wird.

Doch damit nicht genug: Das MaxLab hat sich zum Ziel gesetzt, die Forschungsschwerpunkte der beiden benachbarten Institute in den Kursinhalten einzufangen. Deshalb hat jeder Versuch im MaxLab seinen Ursprung oder seine Anwendung in einem Labor „nebenan“. Mit der Gründung des Max-Planck-Instituts für biologische Intelligenz im Jahr 2022 hat das MaxLab sein Angebot thematisch ausgebaut. Das neue Institut ging aus dem Martinsrieder MPI für Neurobiologie und dem MPI für Ornithologie hervor und mit letzterem hielten nun auch Verhaltensökologie und Evolutionsforschung Einzug in die MaxLab-Kurse. Zusammen mit den etablierten Themen wie Biochemie, Neurobiologie und Zellbiologie, decken die Inhalte nun eine enorme Bandbreite der lebenswissenschaftlichen Grundlagenforschung ab. Zudem ist es Ziel der Kurse aufzuzeigen, wie diese völlig unterschiedlichen Bereiche

unweigerlich miteinander verknüpft sind. Das oben erwähnte Praktikum „Was die DNA verrät“ behandelt zum Beispiel, wie Genetik, innerartliche Diversität und Verhalten bei Vögeln zusammenhängen.

„Der direkte Kontakt zu den beiden Max-Planck-Instituten ist ein gro-

ßer Gewinn“, sagt Ina Peters. „Echte Proben, Fragestellungen und Experimente – das vermittelt einen realistischen Einblick in den Wissenschaftsalltag.“ Und es gibt viel zu tun: Denn was sich hinter Grundlagenforschung verbirgt, ist vielen ein Rätsel. „Ich zeige den Besucher/-innen, was

wir an den Instituten machen und warum, wie ein Experiment geplant wird und dass der Weg zu einem Ergebnis oft mühsamste Kleinarbeit bedeutet“, erzählt Ina Peters. Damit leistet sie wichtige Aufklärungsarbeit, um Forschung für Nicht-Wissenschaftler/-innen greifbarer zu machen.



**ABB. 2** Von PCR über Gelelektrophorese bis hin zum Mikroskopieren können Schüler/-innen verschiedene Methoden im MaxLab selbst ausprobieren.

Foto: Axel Griesch.

### MaxLab goes digital

Dann kam die Corona-Pandemie und rückte diese Ziele auf den ersten Blick in weite Ferne. Gähnende Leere und Stille war das Einzige, was während dieser Zeit im MaxLab zu beobachten war. Doch hinter den Kulissen stand das MaxLab nicht still. Zusammen mit dem Kommunikationsteam der Institute nahm Ina Peters den vorübergehenden Besuchermangel zum Anlass und arbeitete an verschiedenen Online-Formaten. Zunächst entstanden Download-Materialien für Lehrkräfte zu Themen wie CRISPR/Cas oder Modellorganismen. Die Aufgaben eignen sich perfekt für die Gruppenarbeit in der gymnasialen Oberstufe und werden durch Lösungsblätter für Lehrkräfte ergänzt.

Nach und nach kamen zusätzliche digitale Kursformate hinzu. In den angebotenen virtuellen Schulstunden können Klassen zum Beispiel alles zu Gehirnforschung oder Proteomik erfahren, teilweise auch im direkten Austausch mit Wissenschaftler/-innen der Institute. Gespickt mit konkreten Forschungsbeispielen behandeln die Schüler/-innen Methoden, die über den Schulstoff hinausgehen. Besonders beliebt ist das *Online Escape Game* zum Thema PCR. Angelehnt an die bekannten *Escape Rooms*, müssen Schulklassen in einem iktiven Szenario herausfinden, ob gentechnisch veränderte Organismen ins Trinkwasser gelangt sind. Dabei wird nicht nur die Methode PCR vertieft, sondern problemlösendes Denken und Teamfähigkeit geübt.

Der große Vorteil aller Online-Angebote: Das MaxLab ist für alle Lehrkräfte und deren Schüler/-innen aus dem gesamten deutschsprachi-

### DIE INSTITUTE HINTER DEM MAXLAB



Foto: Marius Bruer

Das MaxLab befindet sich am Campus Martinsried, im Südwesten von München, in den Gebäuden der beiden Max-Planck-Institute (MPI) für Biochemie und für biologische Intelligenz. Das MPI für Biochemie beschäftigt sich mit der Struktur und Funktion von Proteinen, den Hauptakteuren in allen zellulären Prozessen. Mit rund 750 Mitarbeitenden zählt das Institut zu einem der größten biologisch-medizinisch ausgerichteten Einrichtungen der Max-Planck-Gesellschaft. [www.biochem.mpg.de](http://www.biochem.mpg.de)

Das Max-Planck-Institut für biologische Intelligenz entstand 2022 aus dem in Martinsried ansässigen MPI für Neurobiologie und dem MPI für Ornithologie mit Standort Seewiesen. An beiden Standorten wird die Fähigkeit tierischer Organismen erforscht, mit einer ständig verändernden Umwelt umzugehen und immer neue Lösungen für Probleme zu finden. Dies beinhaltet unter anderem die Forschungsbereiche Verhaltensökologie, Evolutionsforschung und Neurowissenschaften. [www.bi.mpg.de](http://www.bi.mpg.de)



**BESUCHERINFORMATION**

# MaxLab

Alle Kurse sind kostenfrei. Für die Kurse vor Ort sowie die virtuelle Schulstunde ist eine Vorab-Anmeldung notwendig.

Weitere Infos, sowie ein Film zum MaxLab finden sich unter:  
[www.bi.mpg.de/maxlab](http://www.bi.mpg.de/maxlab) oder  
[www.biochem.mpg.de/maxlab](http://www.biochem.mpg.de/maxlab)

Kontakt: Dr. Ina Peters,  
[ina.peters@bi.mpg.de](mailto:ina.peters@bi.mpg.de)

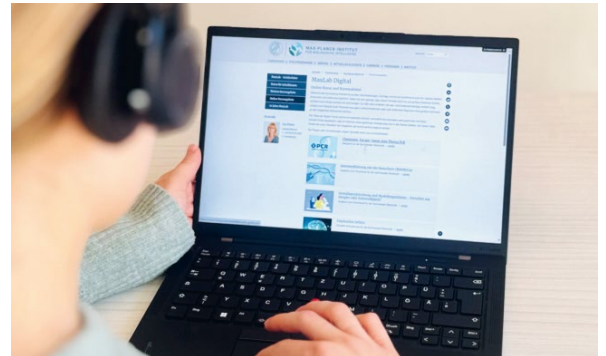
Adresse: Max-Planck-Institute  
 für biologische Intelligenz und  
 für Biochemie,  
 Am Klopferspitz 18,  
 82152 Planegg-Martinsried

gen Raum zugänglich. Wo vorher lange Anreisen nötig oder hauptsächlich ortsansässige Schulen zu Gast waren, stehen die Türen des MaxLab nun mit einem Klick für alle offen.

## Hands-on neu interpretiert

Sich Einwählen, Zuhören, Mitmachen oder im *Escape Game* mit den Schulkamerad/-innen loslegen – das ist von überall möglich. Das MaxLab-Motto „Hands-on“ ist damit nicht mehr zwingend an Martinried gekoppelt. Auf Grund des großen Erfolgs, ist das Online-Angebot nun fester Bestandteil des MaxLab und wird auch jetzt – nach dem Ende der Corona-Beschränkungen – immer weiter ausgebaut.

Denn egal ob vor Ort oder digital von zuhause, Ansporn bleibt es, junge Menschen zu erreichen und für Grundlagenforschung zu begeistern. So ist das MaxLab stolz darauf, mehr als einmal eine entscheidende Rolle gespielt zu haben, wenn Besucher/-innen später eine naturwissenschaftliche Laufbahn einschlugen. „Für manche Jugendliche ist ein Besuch des MaxLab tatsächlich ein entscheidender Impuls bei der Berufsfindung und zeigt ihnen



**ABB. 3** Verschiedene Online-Formate bieten die Möglichkeit das MaxLab auch von zuhause aus zu erleben.

Foto: Christina Bielmeier.

naturwissenschaftliche Berufswege auf, über die sie vorher noch nie nachgedacht haben“, sagt Ina Peters. „Wenn die Augen bei manchen Schüler/-innen während des MaxLab-Kurses zu leuchten beginnen, dann haben wir alles richtig gemacht!“

*Christina Bielmeier, Max-Planck-Institut für biologische Intelligenz*



Verband | Biologie, Biowissenschaften  
 & Biomedizin in Deutschland

## Berufsfelder Biologie – hier gibt es den Überblick

Der VBIO hat achtzig spannende Porträts von Biowissenschaftlerinnen und Biowissenschaftlern im Beruf zusammengestellt. Berufsfeldübersichten, Kontaktadressen, Tipps und Internet-Links ergänzen die „Perspektiven“.

### Perspektiven – Berufsbilder von und für Biologen und Biowissenschaftler

- Herausgegeben vom VBIO
- 11. überarbeitete Auflage, DIN A5, 312 Seiten, ISBN 978-3-9810923-3-2
- 16,80 Euro (inkl. Versand) 15,00 Euro (VBIO-Mitglieder)
- Direktbestellung über [info@vbio.de](mailto:info@vbio.de)



Weitere Infos:

[www.vbio.de/perspektiven](http://www.vbio.de/perspektiven)

# PERSPEKTIVEN BERUFSFELD BIOLOGIE





## MANAGEMENT-FALLSTRICKE, TEIL 21

### Der Unterlassungseffekt

*Fehlentscheidungen sind menschlich. Wir aber lassen in unserer Serie „Management-Fallstricke“ 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?*

Das fleißige Projektteam baute bereits den dritten Sommer über an dem großen Bewässerungssystem, das alle so dringend brauchten. Sie waren sogar schneller als ursprünglich angenommen vorangekommen – Welch eine grandiose Leistung! Bär Bruno schraubte gerade ein weiteres Rohr an das Leitungsnetz, als sein Blick auf die große Wildblumenwiese fiel. „Das Rückhaltebecken fehlt!“, fiel ihm auf. Aufgeregt informierte er Projektleiter Erwin Esel. „Ich weiß“, nickte dieser. „Wir wissen alle, dass es benötigt wird. Der Bau wurde aber noch nicht genehmigt, da sich das Entscheidungsgremium noch nicht auf die geeignete Größe einigen konnte.“ „Wir können die Rohre natürlich weiter verlegen, aber ohne das Becken anzuschließen, macht die ganze Anlage doch überhaupt keinen Sinn!“, wusste der schlaue

Bär Bruno. Projektleiter Erwin Esel senkte den Blick und schüttelte seinen Kopf hin und her, so dass seine großen Ohren nur so wackelten. „Ich weiß mir hier auch nicht zu helfen“, gab er zu. „Machen wir am besten erst einmal weiter wie geplant.“

Gesagt, getan. Das Projektteam machte große Fortschritte. Und schon im nächsten Monat waren sie so weit mit dem Verlegen der Rohre fortgeschritten, dass es nun an der Zeit wäre, das Becken anzudocken, um danach die komplette Anlage in Betrieb zu nehmen. Dieses existierte aber immer noch nicht.

Das Team war ratlos. Was sollten sie tun? Bär Bruno legte die Arbeit nieder und wartete ab. Hase Hoppel war verwirrt, warum es nicht weiterging und hoppelte umher, um von jemand anderem eine Information zu bekommen. Hündin

Hannah putzte die noch nicht verbauten Rohre. Ziege Zensi meckerte von früh bis spät. Aber es nutzte nichts.

Die Tage vergingen. „Wann tagt denn das Entscheidungsgremium?“, fragten alle den Esel. „Am Mittwoch“, antwortete er. Und so warteten alle gespannt auf Mittwoch. Bruno Bär war startbereit, Hase Hoppel angespannt, Hündin Hannah neugierig und Ziege Zensi pausierte ihr Meckern. Als der Esel endlich herauskam, knisterte die Luft vor Anspannung. „Wann wird der Bau des Rückhaltebeckens denn nun genehmigt?“, fragten sie einstimmig. Doch anstatt ihnen von der Entscheidung zu berichten, zuckte Esel Erwin nur mit den Schultern. „Vertagt“, war alles, was er zu sagen hatte. Bär Bruno ärgerte sich, dass er überhaupt seine Arbeitshose angezogen hatte. Hase Hoppel war verwirrter als zuvor. Hündin Hannah hatte es sowieso bereits geahnt und putzte weiter die Rohre. Ziege Zensi kam aus dem Meckern gar nicht mehr heraus.

Irgendwann gingen Hündin Hannah die Putzmittel aus. Die Rohre verdreckten jeden Tag mehr, und es war eine Frage der Zeit, bis die Konstruktion den Geist aufgab, bevor sie in Betrieb genommen wurde. Und so kam es, dass die Waldbewohner auch weiterhin ohne Bewässerungssystem auskommen mussten, das Projektteam weiterhin wartete, und das Entscheidungsgremium weiterhin tagte.

**Und die Moral von der Geschichte: Vertage wichtige Entscheidungen nicht.**

Ihre Andrea Hauk,  
andreabauk@gmx.de

#### FAKTENBOX

*Wer die Füße stillhält und Entscheidungen lieber hinauszögert als eine Änderung aktiv zu beeinflussen, dem sei gesagt: Nicht zu handeln birgt genauso Risiken wie aktives Handeln! Vergleichbar mit unterlassener Hilfeleistung, tun Sie Ihren Projekten, Mitarbeitern oder Kunden nichts Gutes, wenn Sie z. B. aus Angst, das Falsche zu tun, lieber erst einmal gar nichts tun. Dies gilt für den überflüssigen Prozess, den sie nicht aufgeben wollen, genauso wie für das Weiterführen einer veralteten Produktlinie. Raus aus der Komfortzone! Trauen Sie sich, Tätigkeiten zu starten, die vielversprechend sind, aber auch Tätigkeiten zu beenden, die keinen Mehrwert bringen. Leiten Sie aktiv den Wechsel ein, anstatt aus Bequemlichkeit oder Angst vor Veränderung Entscheidungen zu vertagen, denn: Keine Entscheidung ist auch eine Entscheidung.*

## RÜCKBLICK

- 1/24 Der Forscher, der auf Bienen flog  
 1/24 Die „Sprache“ der Bienen  
 1/24 100 Jahre Schwänzeltanz  
 1/24 Vom Konflikt zur Koexistenz  
 1/24 Molekulare Phylogenetik  
 1/24 Pflanzen mit Bodyguards
- 2/24 Kleine Juwelen im Ölschiefer  
 2/24 Umwelt-DNA aus der Vergangenheit  
 2/24 Die sexuelle Revolution in der Algenforschung  
 2/24 Offene Daten, offene Wissenschaft?  
 2/24 Moderne Pflanzenzüchtung durch Genom-Editierung  
 2/24 Irreguläre Terpene in Bakterien

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen und dgl. in dieser Zeitschrift berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Namen ohne weiteres von jedermann benutzt werden dürfen. Vielmehr handelt es sich häufig um gesetzlich geschützte eingetragene Warenzeichen, auch wenn sie nicht eigens als solche gekennzeichnet sind. – **Alle Rechte vorbehalten**, insbesondere die der Übersetzung in fremde Sprachen. Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Nur für den persönlichen und sonstigen eigenen Gebrauch sowie für nicht kommerzielle Zwecke dürfen von einzelnen Beiträgen oder Teilen von ihnen einzelne Vervielfältigungsstücke hergestellt werden. Der Inhalt dieses Heftes wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber, Redaktion und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

## BiuZ 4/2024 erscheint im November 2024

**Biologie in unserer Zeit**  
finden Sie im Internet unter  
[www.biu.z.de](http://www.biu.z.de)

Hat Ihnen dieses Heft gefallen, aber Sie sind noch kein VBIO-Mitglied?

Die Biuz gibt es exklusiv für VBIO-Mitglieder.  
Einfach beitreten unter [www.vbio.de/beitritt](http://www.vbio.de/beitritt)  
und viermal im Jahr die Lektüre genießen!



## IM NÄCHSTEN HEFT

**Bacillus subtilis: Modellorganismus der Mikrobiologie**

Die Mikrobe des Jahres 2023 vereint spannende biologische Eigenschaften wie Arbeitsteilung und Vielzelligkeit mit einem hohen Nutzen für den Menschen – ob zur Herstellung traditioneller fermentierter Lebensmittel, als Probiotikum für Mensch und Tier, oder aber zur großtechnischen Herstellung von Vitaminen oder Waschmittelenzymen.

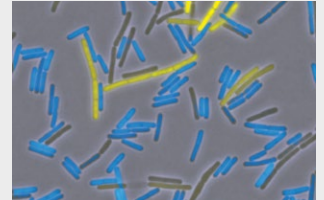


Abb.: Christine Diethmaier (AG Stülke), Göttingen, CC BY 4.0.

**Chancen der grünen Bioökonomie**

Der Erfolg der Bioökonomie, auf einem von der Klimakatastrophe bedrohten Planeten bis zu 10 Milliarden Menschen zu ernähren, vor Krankheiten zu schützen und mit Wasser und Rohstoffen zu versorgen, hängt maßgeblich von der Effizienz der Photosynthese ab. Die Nutzung von Algen gilt als besonders aussichtsreich. Doch wie realistisch sind die Erwartungen?

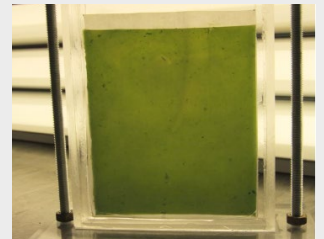


Abb.: C. Wilhelm.

**Stadtbäume der Zukunft**

„Klimabäume“ sind im Gegensatz zu vielen einheimischen Baumarten gut an zu erwartende Klimaverhältnisse und an die Besonderheiten urbaner Standorte angepasst. Sie stehen allerdings im Verdacht, durch ungewollte und übermäßige Ausbreitung einheimische Baumarten zu verdrängen. Unser Autor plädiert für eine differenzierte Betrachtung.



Foto: J. Bouillon.

**Schwerpunkt: Fortpflanzungsbiologie****Geschlecht und Gender aus biologischer Perspektive**

Noch vor wenigen Jahren war das Thema Zweigeschlechtlichkeit von Tieren im Biologieunterricht und in Universitätsgrundkursen vollkommen unverfänglich. Mittlerweile ist sie jedoch ein Politikum geworden, was bei vielen Lehrenden zu wachsender Verunsicherung führt. Unser Beitrag möchte durch die Darstellung gesicherter Fakten zu einer Versachlichung der Debatte beitragen.

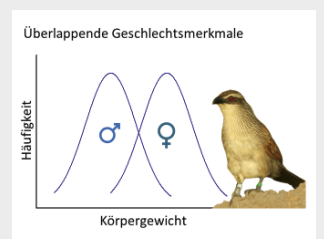


Abb.: W. Goymann.

**Fortpflanzung zu Wasser und zu Lande**

Da sich Luft im Gegensatz zu Wasser nicht als Trägermedium für Spermien eignet, mussten mit dem Landgang der Tiere neue Fortpflanzungsstrategien entstehen. So kehren die Amphibien – als Pioniere des Landgangs in der Wirbeltierevolution – für die Reproduktion meist ins Wasser zurück. Erst die Reptilien schafften es, sich auch fortpflanzungstechnisch ganz vom Wasser zu lösen.



Foto: W. Böhme.



## Das Karriereportal

für Biologen,  
Biomediziner &  
Biowissenschaftler

Jetzt passende  
Jobs finden



Keine Jobangebote  
verpassen!

Online   
**Karriere  
messe**  
by jobvector

- Live-Vorträge
- Workshops
- Karriereberatung
- Top-Arbeitgeber  
im Videocall

[www.jobvector.de](http://www.jobvector.de)



Verband | Biologie, Biowissenschaften  
& Biomedizin in Deutschland

**GEMEINSAM  
FÜR DIE**

**BIEWISSENSCHAFTEN**

### **Gute Gründe, dem VBIO beizutreten:**

- Werden Sie Teil des größten Netzwerks von Biowissenschaftlern in Deutschland.
- Unterstützen Sie uns, die Interessen der Biowissenschaften zu vertreten.
- Nutzen Sie Vorteile im Beruf.
- Bleiben Sie auf dem Laufenden – mit dem VBIO-Newsletter und dem Verbandsjournal „Biologie in unserer Zeit“.
- Treten Sie ein für die Zukunft der Biologie.



[www.vbio.de](http://www.vbio.de)

**Jetzt beitreten!**

