II 90372/93,5

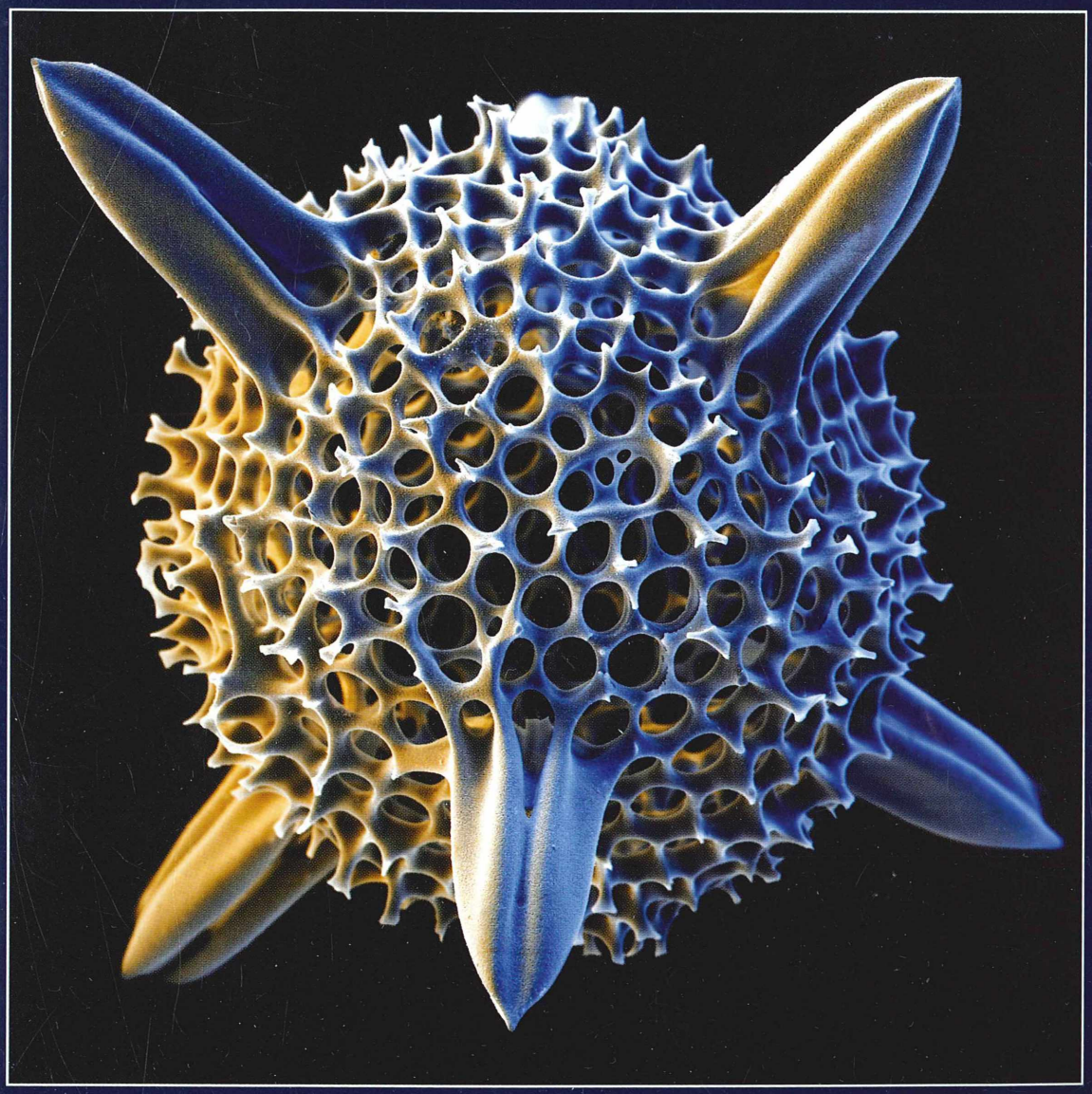
ELSEVIER
URBAN & FISCHER

MIKROKOSMOS

Heft 5
93. Jahrgang
September 2004

www.elsevier.de/mikrokosmos

ISSN 0026-3680



© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

MIKROKOSMOS Zeitschrift für Mikroskopie

Herausgegeben von Klaus Hausmann (Berlin) v.i.S.d.P.
Redaktionsassistentin: Renate Radek (Berlin)

Mitteilungsorgan für den Arbeitskreis Mikroskopie im Freundeskreis Botanischer Garten Köln, Arbeitskreis Mikroskopie im Naturwissenschaftlichen Verein zu Bremen, Berliner Mikroskopische Gesellschaft e.V., Deutsche Mikrobiologische Gesellschaft Stuttgart, Mikrobiologische Vereinigung im Naturwissenschaftlichen Verein zu Hamburg, Mikrobiologische Vereinigung München, Mikroskopische Gesellschaft Wien, Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft der Naturwissenschaftlichen Vereinigung Hagen e.V., Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft Hannover, Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft Mainfranken, Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft Stuttgart, Mikroskopische Gesellschaft Zürich, Tübinger Mikroskopische Gesellschaft e.V.

Inhalt

Artikel

257 Zellkultur: Eine vielfältig einsetzbare Forschungsmethode in der experimentellen Medizin und Biologie
Armin Maidhof

265 Die Sprossachse des Spitzwegerich (*Plantago lanceolata*) – Eine clevere Turmkonstruktion?
Katharina Leimenstoll und Uwe Markstahler

279 *Trichodina* auf *Eudiaptomus* – Ein „Hüpferling" mit Läusen
Josef Brief

283 Sherlock Holmes – Ein unsterblicher Mikroskopiker?
Norbert Gregor Günkel

287 Beobachtungen an terrestrischen Algenbiofilmen mit dem Hell- und Dunkelfeld-Auflichtmikroskop
Joachim Jahnke

295 Räuberische Lebensweise bei Ciliaten – Fallbeispiel: *Homalozoon vermiculare* – Teil 2: Kannibalismus oder doch nur ein Zufall?
Doreen Baumberg und Klaus Hausmann

301 Sekretorische Drüsengewebe von Pflanzen
Siegfried Hoc

307 Jahresringchronologie eines Birnbaums
Michael Häusler

313 Halloween im Mikrokosmos?
Mikroskopische Untersuchungen an der Kürbispflanze
Friedrich Thormann

Rubriken

263, 277, 317 Nachrichten

274, 305 Kurze Mitteilungen

275 Mikro-Lyrik

282, 286, 312, 318 Buchbesprechungen

300 Neue Medien

309 Mikro-Kids

318 Aus den Arbeitsgemeinschaften

319 Mikro-Markt

Im elektronischen MIKROKOSMOS-ARCHIV
www.elsevier.de/mikrokosmos werden mit dem Erscheinen dieses Heftes drei Artikel aus dem Band 9 (1915/16) über Schleimpilze wiedergegeben.

Das jeweils neueste Inhaltsverzeichnis können Sie jetzt auch kostenlos per e-mail (ToC Alert Service) erhalten.
Melden Sie sich an: www.elsevier.de/mikrokosmos

Indexed in: Bibliography and Index of Geology (also known as GeoRef)/Biological Abstracts/Chemical Abstracts/Excerpta Medica/Zoological Records

Mehr Informationen zum MIKROKOSMOS und anderen Zeitschriften finden Sie im Internet:
www.elsevier.de

Umschlagabbildung: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Radiolarienskeletts (Foto: Christina und Manfred Kage, Schloß Weißenstein). Siehe Mikro-Lyrik, S. 275–277.

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Zellkultur: Eine vielfältig einsetzbare Forschungsmethode in der experimentellen Medizin und Biologie

Armin Maidhof

Die Zellkultur befasst sich mit Wachstums- und Stoffwechselvorgängen von Zellen in vitro, also außerhalb eines Gesamtorganismus. Die gewonnenen Forschungsergebnisse werden heute zu ganz unterschiedlichen Aufgaben genutzt. So können Zellkulturen zur Produktion von großen Mengen Biomaterial wie zum Beispiel therapeutisch wichtige Proteine eingesetzt werden. Der Weg bis zur heutigen Zellkulturtechnik war langwierig.

Die ersten Versuche, Gewebestücke außerhalb des Organismus am Leben zu erhalten, liegen etwa 120 Jahre zurück. Im Jahre 1885 veröffentlichte der deutsche Anatom Wilhelm Roux Versuche zur Entwicklungsmechanik, bei denen er Medullar-Scheiben von Hühnerembryonen in warmer Salzlösung hielt, um die Organentwicklung zu beobachten.

Historischer Rückblick

Im Jahre 1907 berichtete der Amerikaner R. G. Harrison über die Explantation von Gewebestücken aus Froschembryonen in Froschlymphe als Kulturflüssigkeit. Er konnte beobachten, dass sich aus embryonalen Nervenzellen die Neuriten ohne Beteiligung anderer Zellen bildeten. Dies war ein wichtiger Hinweis dafür, dass sich Zellen auch außerhalb des Gesamtorganismus zu einer spezifischen Funktion differenzieren können. 1912 konnte der Franzose A. Carrel (Nobelpreis für Medizin 1912) zeigen, dass es möglich ist, Kulturen tierischer Gewebe lange Zeit im Zustand der Zellvermehrung zu halten, wenn das Kulturmedium – er verwandte Blutplasma – regelmäßig erneuert wird. Carrels Kulturmethode unter Einsatz von Blutplasma wurde Jahrzehnte beibehalten. Erst um 1950 begannen Versuche, das Blutplasma durch genau definierte Nährlösungen zu ersetzen. Hier sind vor allem die Amerikaner H. Eagle (1955, 1959) und W. R. Earle (1943) zu nennen, Namen, die jedem Zellkulturanwender wohl bekannt sind. Ihre Untersuchungen über die Nährbedürfnisse von Zellkulturen führten zur Entwicklung synthetischer beziehungsweise halbsynthetischer Nährmedien, mit denen reproduzierbare Kulturbedingungen für zellbiologische Untersuchungen geschaffen werden konnten.

Die heute gebräuchlichen definierten Zellkulturmedien setzen sich aus den Komponentengruppen Kohlenhydrate, Aminosäuren, anorganische Salze und Vitamine zusammen. Unter den Kohlenhydraten ist die Glukose die Hauptenergiequelle des Zellstoffwechsels. Die Aminosäuren sind die Grundbausteine für die Proteinbiosynthese. Anorganische Ionen, vor allem Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Phosphat, Chlorid und Hydrogencarbonat sind für Stoffwechselvorgänge und die Aufrechterhaltung des osmotischen Gleichgewichts unerlässlich. Phosphat und Hydrogencarbonat stabilisieren den pH-Wert im physiologischen Bereich von 7,2–7,4. Vitamine sind als Cofaktoren und Bausteine von Coenzymen für den Ablauf enzymkatalysierter Stoffwechselreaktionen absolut notwendig. Um gleichmäßiges und kontinuierliches Zellwachstum zu erreichen, ist die Supplementierung des Mediums mit einem Tierserum, meist Pferde- oder Kälberserum, in 5–10%iger Konzentration erforderlich. Das Serum enthält wichtige Wachstumsfaktoren, Hormone und Serumproteine. Als Kulturgefäße dienen Flaschen oder Schalen aus Glas beziehungsweise Kunststoff, wie sie in ähnlicher Form in mikrobiologischen Labors zur Bakterienkultivierung schon lange verwendet werden. Wie in mikrobiologischen Labors muss auch in Zellkulturlabors unter sterilen Bedingungen gearbeitet werden.

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Beispiele aus der Forschung

Der Einsatz definierter Kulturmedien ging einher mit einer stürmischen Entwicklung der Zellkultur. Unzählige Zelltypen vom Menschen und von unterschiedlichen Tierarten wurden aus Geweben und Organen isoliert und erfolgreich in Kultur genommen. Besonders Tumorzellen unterschiedlicher Gewebsherkunft ließen sich schnell an die In-vitro-Bedingungen anpassen, wobei ihre grenzenlose Proliferationsfähigkeit der kontinuierlichen Kultivierung entgegenkam. In Zellkulturbanken in USA und Europa werden einige Tausend verschiedene Zelllinien bei tiefen Temperaturen (ca. –190 °C) gelagert. Aus diesem Bestand kann dann eine Zelllinie mit den interessierenden Eigenschaften ausgewählt und in Kultur genommen werden.

HeLa-Zellen aus Cervix-Karzinom

Die erste menschliche Tumorzelle wurde 1952 (Gey) aus einem Cervix-Karzinom einer 31 Jahre alten Frau isoliert und in vitro weitergezüchtet. Der Name der Patientin war Henrietta Lack und die Zelllinie wurde nach den Anfangsbuchstaben ihres Namens HeLa benannt. Die Patientin verstarb 1954. Die von ihr abstammenden HeLa-Zellen werden noch heute weltweit in Zellkulturlabors für tumor- und zellbiologische Untersuchungen gezüchtet, ein Hinweis dafür, dass Säugerzellen, wenn auch nur in entarteter Form, potentiell unsterblich sein können. Die HeLa-Zellen bilden – wie zahlreiche andere Zelllinien auch – auf den Glas- oder Kunststoffflächen der Kulturgefäße einen mehr oder weniger dichten epithelähnlichen Zellrasen (Abb. 1 und 2). Der Zellrasen wird durch mechanische oder enzymatische Behandlung in Einzelzellen überführt, mit denen eine neue Kultur in frischem Nährmedium angesetzt werden kann.

Leukämie-Zelllinien

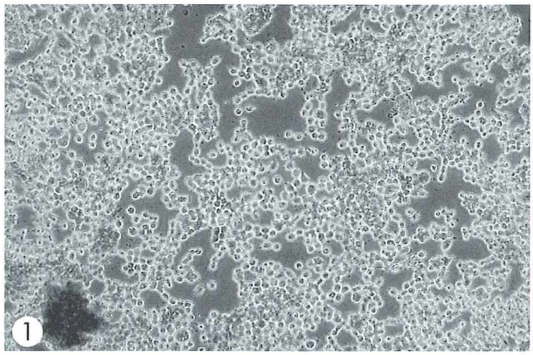
In Suspension schwebend wachsen hingegen die Leukämie-Zelllinien, die sich aus Blutzellen verschiedenen Differenzierungsgrades durch Entgleisung der Proliferations-Kontrollmechanismen gebildet haben. Es sind zahlreiche tierische und humane Leukämie-Zelllinien isoliert worden, denen eine hohe Proliferationsrate gemeinsam ist (Abb. 3). Die Zellpopulationen verdoppeln sich alle 9–10 Stunden und erreichen Zelldichten von 2–3 Millionen Zellen pro ml Kulturflüssigkeit. Leukämie-Zellen gehören zu den Säugerzellen mit der kürzesten Generationszeit. In vitro kultivierte Leukämiezellen werden bei der Entwicklung neuer Cytostatica zur Prüfung auf Cytotoxizität verwendet, bevor eine hoffnungsvolle Substanz weiteren umfangreichen Prüfungen zugeführt wird. Auch der Wirkungsmechanismus eines Cytostaticums kann an Zellkulturen aufgeklärt werden.

Biochemische Eigenschaften von Sarkom-Zelllinien

Bei zahlreichen Zelllinien, die inzwischen in vitro gezüchtet werden können, stellte sich heraus, dass sie spezifische biochemische Eigenschaften des Herkunftsgewebes oder -organs beibehalten haben. Tumorzellen neigen außerdem dazu, den Aufbau des Ausgangsgewebes nachzuahmen. So ist es möglich, diese Zellen als eine Art Modellorganismus für die Erforschung eines zellphysiologischen Vorgangs außerhalb eines komplexen Lebewesens im übersichtlichen Milieu eines Zellkulturgefäßes einzusetzen. Im Jahre 1976 konnten von einer Ratte Zellen aus einem so genannten osteogenen Sarkom in Kultur genommen werden, einem Tumortyp, der von Knochenbildungszellen (Osteoblasten) abstammt. Die Zelllinie erhielt die Bezeichnung UMR-106 (Abb. 4). Diese Tumorzellen besitzen noch die membranständigen Rezeptoren für Parathormon, das einmal die Kollagensynthese für die Bildung der Knochenmatrix hemmt und zum anderen die Calciumabgabe aus den Knochen fördert. In die gleiche Richtung wirkt sich das Vorhandensein von cytosolischen Rezeptoren für das D-Hormon Dihydroxycalciferol (= Calcitriol) aus. Parathormon und D-Hormon spielen eine wichtige Rolle in der Steuerung des Mineralstoffwechsels des Skelettsystems. Auf Grund der genannten Rezeptorausprägungen lassen sich an den UMR-106-Zellen die Vorgänge der Entmineralisierung und des Abbaus von Knochengewebe, beispielsweise bei der Osteoporose, aufklären.

Tumorzelllinien aus dem Nebennierenmark

Ein wertvolles Modellsystem für neurobiologische und neurochemische Studien konnte im



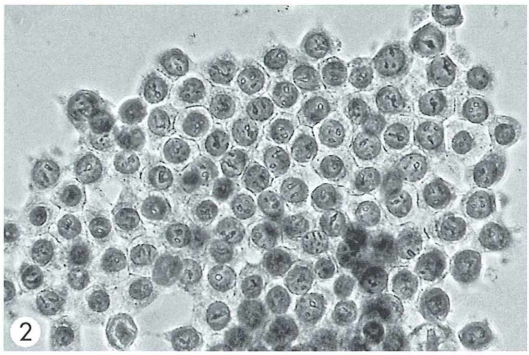
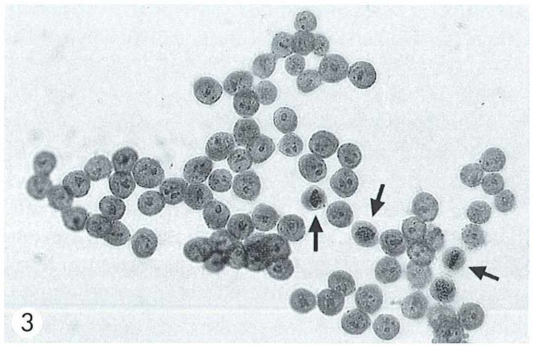


Abb. 1: HeLa-Zellen: Sie bilden in Kultur einen dichten, großflächigen Zellrasen aus. Lebendaufnahme, Phasenkontrast, Vergr. 32fach. – Abb. 2: HeLa-Zellen formieren sich zu einem epithelähnlichen Gewebe. Zellkerne mit Nukleoli dunkel gefärbt. Gallocyanin-Färbung und Phasenkontrast, Vergr. 125fach.



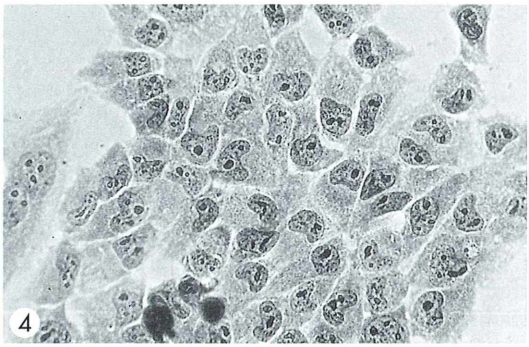


Abb. 3: Leukämie-Zellen der Maus: Der Zellkern ist von einem schmalen Cytoplasmasaum umgeben. Hinter der unscheinbaren Zellform verbirgt sich eine aggressive und unbegrenzte Vermehrungskapazität (Pfeile: Mitosestadien). Fuchsin-Färbung und Phasenkontrast, Vergr. 125fach. – Abb. 4: UMR-106-Zellen: Sie wurden aus einem Sarkom des Knochenbildungsgewebes einer Ratte isoliert (Osteogenes Sarkom). Die Zellkerne sind unregelmäßig geformt und enthalten 1–3 Nukleoli. Kernechtrot-Anilinblau-Orange G-Färbung, Vergr. 125fach.

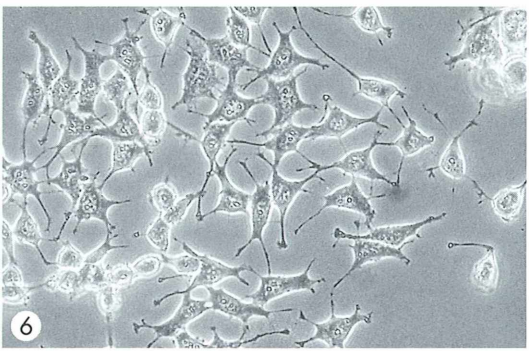


Abb. 5 und 6: PC-12-Zellen. – Abb. 5: Die Zellmorphologie lässt ihre entwicklungsgeschichtliche Herkunft vom sympathischen Nervensystem nicht mehr erkennen. Fuchsin-Anilinblau-Färbung, Vergr. 125fach. – Abb. 6: Nach Zusatz von Nervenwachstumsfaktor (NGF) differenzieren sich die PC-12-Zellen um und bilden Neurite aus, über die sie sich untereinander vernetzen. Lebendaufnahme, Phasenkontrast, Vergr. 125fach.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

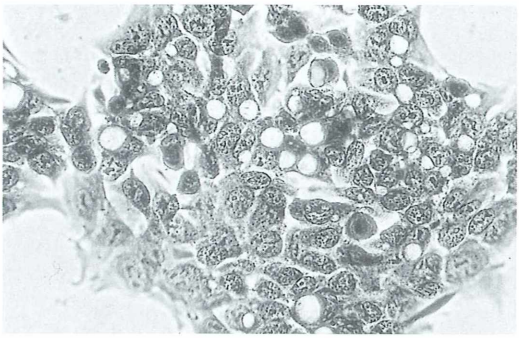


Abb. 7: HepG2-Zellen: Diese Leberkarzinom-Zellen produzieren in großen Mengen leberspezifische Proteine. Zahlreiche, hell aufleuchtende sekretorische Vesikel weisen auf diese Fähigkeit hin. Kernechtrot-Anilinblau-Orange G-Färbung, Vergr. 125fach.

Jahre 1976 (Green) mit Zellen etabliert werden, die von einem Tumor der chromaffinen Zellen des Nebennierenmarks der Ratte abstammen. Dieser Tumor wird als adrenales Phaeochromocytom eingestuft und die daraus isolierten Zellen tragen die Kurzbezeichnung PC-12 (Abb. 5). Das Nebennierenmark, das Bildungsstätte von Noradrenalin und Adrenalin ist, stammt zwar entwicklungsgeschichtlich vom sympathischen Nervensystem ab, die chromaffinen Zellen sind aber aufgrund spezifischer Differenzierung in keine neuronalen Prozesse eingebunden. Die von ihnen abstammenden PC-12-Zellen „erinnern" sich offensichtlich wieder an ihre entwicklungsgeschichtliche Herkunft. Auf den Zusatz von Nervenwachstumsfaktor zum Kulturmedium reagieren sie nämlich mit der Ausbildung von Neuriten, die bis zu 1000 µm lang werden können. Die Neuriten benachbarter Zellen wachsen aufeinander zu und nehmen Verbindung auf. Das mikroskopische Bild ähnelt dem vernetzter Neurone (Abb. 6). Hinzu kommt, dass die PC-12-Zellen Dopamin und Noradrenalin synthetisieren und speichern, zwei Neurotransmitter des sympathischen Nervensystems, die für die Weiterleitung eines Nervenimpulses an den Synapsen verantwortlich sind. Durch diese Eigenschaften eignen sich die PC-12-Zellen für Untersuchungen zur Entwicklung und Differenzierung von Nervenstammzellen. Weiterhin lassen sich die Vorgänge, die im Zusammenhang mit Synthese, Speicherung, Aufnahme und Ausschüttung der Neurotransmitter stehen, untersuchen.

Erforschung des Leberstoffwechsels an Lebertumorzellen

Eine Zelllinie, mit der in Teilbereichen die zentrale Rolle der Leber im Stoffwechselgeschehen auf Zellniveau erforscht werden kann, wurde in den so genannten HepG2-Zellen gefunden (Abb. 7). Sie wurden aus einem menschlichen Leberkarzinom im Jahre 1979 isoliert und werden seitdem für Fragestellungen zum Stoffwechsel der Leberzelle eingesetzt. Zahlreiche Serumproteine, die die Leber synthetisiert und ins Blut sezerniert, werden von den HepG2-Zellen in großen Mengen gebildet und in das Kulturmedium abgegeben. 15 solcher Proteine konnten nachgewiesen werden, darunter Transferrin (Eisentransport), Fibrinogen (Blutgerinnung) und Albumin (Transport hydrophober Substanzen). Interessant ist die Synthese von α1-Fetoprotein, das normalerweise nur während der fötalen Entwicklungsphase in großen Mengen von der Leber des Fötus gebildet wird. Nach der Geburt wird die Synthese abgeschaltet. Bei den HepG2-Zellen, die von einem Erwachsenen abstammen, ist durch die Tumorentartung offensichtlich eine Redifferenzierung eingetreten, die für die erneute Synthese dieses fötalen Proteins verantwortlich ist.

Zellkulturen aus normalen Geweben und Organen

Während Tumorzellen in Kultur ihr unbegrenztes Wachstum und nicht selten auch spezifische zellphysiologische Eigenschaften beibehalten, treten diesbezüglich bei Zellkulturen aus normalen Gewebs- oder Organstücken von Menschen oder Tieren zellbiologische Veränderungen auf, die ihren Einsatz einschränken. Für die Präparation solcher als Primärkulturen bezeichneten Zuchtansätze werden die Gewebeproben nach der Entnahme zunächst mechanisch zerkleinert und die Zellen anschließend durch enzymatische Behandlung aus dem Gewebeverband gewonnen. Die Zellen werden vorsichtig abzentrifugiert, in Nährlösung suspendiert und in Kulturgefäßen ausgesät. Aus Primärkulturen weiter gezüchtete Zellen verlieren nach einiger Zeit häufig ihre biochemischen Eigenschaften und spezifischen Funktionen. Bald stellen sie die Vermehrung ein und sterben ab, so dass Primärkulturen immer wieder aus Gewebeproben neu angezüchtet werden müssen. Ein Zelltyp lässt

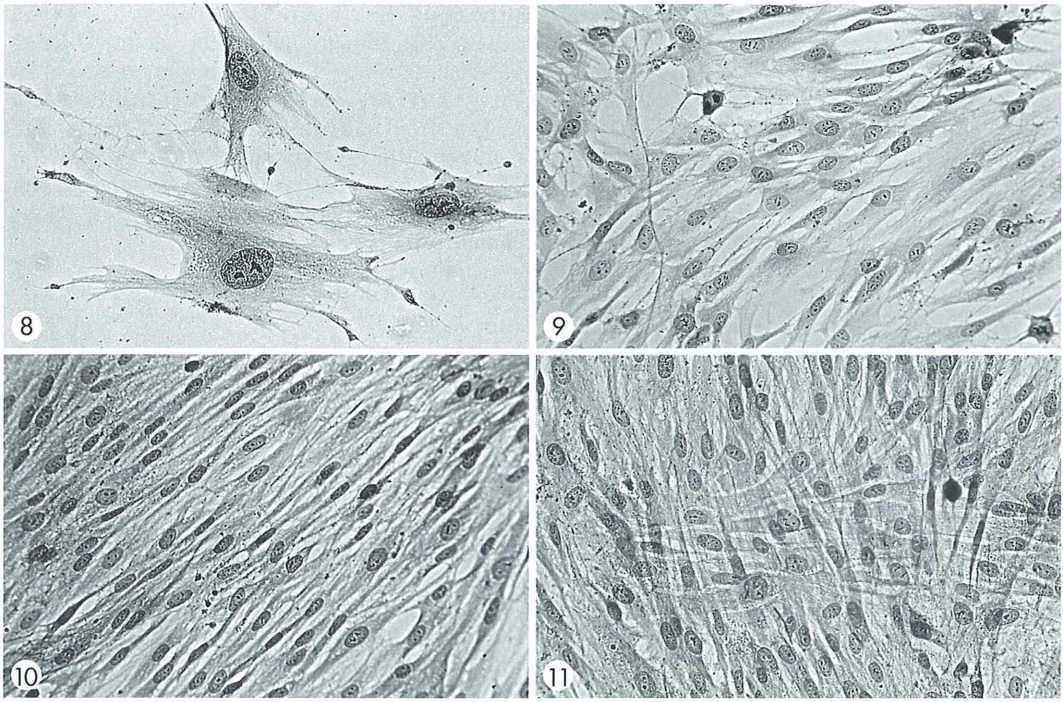


Abb. 8: Humane Fibroblasten: Die Fibroblasten weisen nach dem Animpfen einer neuen Kultur eine charakteristische unregelmäßige Form auf. Der Zellkern ist von einem großen Cytoplasmahof umgeben, der ein umfangreiches Geflecht von Intermediärfilamenten enthält. Die Zellen nehmen über lange Membranfortsätze Verbindung auf. Kernechtrot-Anilinblau-Orange G-Färbung und Phasenkontrast, Vergr. 125fach. – Abb. 9: Humane Fibroblasten: Sie bilden auf der Wuchsfläche einige Tage nach dem Aussäen eine zunehmend verflochtene Zellschicht aus. Methylenblau-Färbung und Phasenkontrast, Vergr. 78fach. – Abb. 10: Humane Fibroblasten: Mit steigender Zelldichte nehmen die Fibroblasten eine Spindelform an und ordnen sich annähernd in einer Richtung aus. Methylenblau-Färbung und Phasenkontrast, Vergr. 78fach. – Abb. 11: Humane Fibroblasten: Durch Ausbildung von mehreren Zellschichten entsteht ein festes Bindegewebe. Dabei sind die spindelförmigen Zellen in den einzelnen Schichten in unterschiedlichen Richtungen angeordnet. Methylenblau-Färbung und Phasenkontrast, Vergr. 78fach.

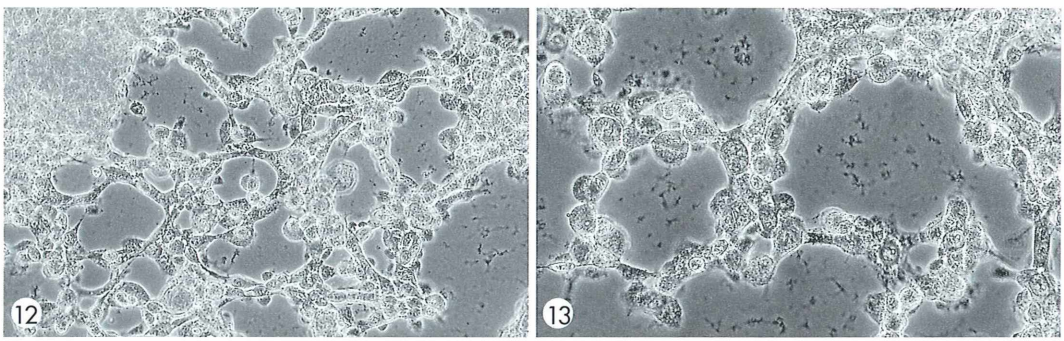


Abb. 12 und 13: Endothelzellen aus menschlicher Nabelschnur. – Abb. 12: Sie bilden unter experimentellen Bedingungen zahlreiche ringförmige Gefäß-Querschnitte aus. Lebendaufnahme, Phasenkontrast, Vergr. 78fach. – Abb. 13: Im Querschnitt der Gefäße sieht man, dass sie von einer einzelligen Lage Endothelzellen ausgekleidet werden. Lebendaufnahme, Phasenkontrast, Vergr. 125fach.

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

sich allerdings lange in Kultur halten und vermehren, nämlich die Fibroblasten (Abb. 8). Sie stammen von Bindegewebe ab und bilden zunächst in Kultur eine Schicht von unregelmäßig geformten und mit zunehmender Dichte vernetzten Zellen (Abb. 9). Bei hoher Zelldichte bilden sie lang gestreckte, spindelförmige Zellen aus, die sich in eine Richtung anordnen (Abb. 10). Etwa eine Woche nach dem Aussäen wird die Kultur mehrschichtig, wobei sich die Zellschichten kreuzweise ausrichten (Abb. 11). In Kultur behalten die Fibroblasten spezifische biochemische Leistungen über lange Zeit bei, so zum Beispiel die Fähigkeit zur Synthese von Proteoglykanen und Kollagen. Kollagen wird als Vorstufe (Prokollagen) von den Zellen nach außen abgegeben und ist nach enzymatischer Umwandlung in Form einer extrazellulären Matrix Grundbaustein von Bindegewebe, Knorpel- und Knochengewebe. Im Knorpelgewebe wird das Netzwerk aus Kollagenfasern noch zusätzlich von Proteoglykanen ausgefüllt. Diese spezifische Syntheseleistung der Fibroblasten passt zu der Beobachtung, dass sie sich im Organismus und unter bestimmten experimentellen Bedingungen auch in Kultur zu Chondrocyten (Knorpelbildungszellen) und Osteoblasten (Knochenbildungszellen) differenzieren können. Auch eine Rückdifferenzierung der Chondrocyten zu Fibroblasten ist in Kultur beobachtet worden. Fibroblasten lassen sich dadurch hervorragend für zellbiologische Untersuchungen zum Problemkreis Differenzierung und Zellspezialisierung heranziehen.

Blutgefäßzellen in Kultur

In jüngster Zeit gelang es, ein Zellkultur-Modell für die Untersuchung der Angiogenese, der Bildung neuer Blutgefäße, zu etablieren. Endothelzellen, die die Blutgefäße auskleiden, können aus Nabelschnüren nach enzymatischer Einwirkung isoliert und in Kultur genommen werden. Unter besonderen experimentellen Bedingungen richten sich die Endothelzellen zu einer geordneten Struktur aus, die durch ringförmige Gefäßquerschnitte charakterisiert ist (Abb. 12 und 13). Die Ausbildung solcher Gefäßstrukturen ist ein vielstufiger Prozess, der mit Anheftung, Wanderung und Differenzierung der Endothelzellen verbunden ist. Die Angiogenese spielt bei der Wundheilung eine wichtige Rolle, kann sich aber auch im Falle eines Tumorwachstums äußerst nachteilig auswirken. Ein Tumor kann die Bildung von neuen Blutgefäßen induzieren, wodurch seine Versorgung mit Nährstoffen gesteigert wird. Dies führt zu weiterem Tumorwachstum mit steigender Gefahr der Metastasenbildung. Ein therapeutischer Ansatzpunkt ist der Einsatz von Wirkstoffen, die die Angiogenese unterbinden. Mit Hilfe des Zellkultur-Modells können solche Hemmstoffe entwickelt werden.

Ausblick

Die genannten Beispiele sind nur ein winziger Bruchteil dessen, wozu Zellkulturen eingesetzt werden können und bereits eingesetzt werden. Die Methodenvielfalt ist aus keinem biochemischen oder molekularbiologischen Labor wegzudenken. Immer stärker gewinnt die Zellkultur als Methode bei der Diskussion über Embryonenschutz und Stammzell-Forschung auch das Interesse der Öffentlichkeit. In der Tagespresse wird häufig von Experimenten berichtet, in denen die Möglichkeit geprüft wird, inwieweit mit Hilfe der Zellkultur vermehrte pluripotente Stammzellen aus Embryonen oder adulten Geweben nach gezielter Differenzierung therapeutisch eingesetzt werden können. Mit Stammzellen der Haut, den Keratocyten, die von Erwachsenen isoliert werden, gelingt es bereits seit 1980, in Kulturgefäßen im Verein mit Fibroblasten großflächiges Hautgewebe zu züchten, das bei Verbrennungen als Transplantat auf die geschädigten Körperpartien erfolgreich übertragen werden kann. In jüngster Zeit wurde auch über den aussichtsreichen Einsatz von adulten Stammzellen bei Herzinfarkt-Patienten berichtet. Durch intensive Forschung werden sich in den kommenden Jahrzehnten mit in Zellkultur spezifisch differenzierten und vermehrten Stammzellen Therapiemöglichkeiten für einen Zell- und Gewebeersatz erschließen. Nicht unerwähnt sollen die viel versprechenden Bemühungen bleiben, durch Zellkulturmethoden eine Verminderung oder sogar eine Vermeidung von Tierversuchen zu erreichen. Ein vollständiger Ersatz wird in naher Zukunft sicher nicht zu erzielen sein.

Die In-vitro-Zellzüchtung blieb nicht allein auf Säugerzellen beschränkt. Seit vielen Jahren werden Zellkulturmethoden auch bei Zellen aus niederen Tieren wie Insekten und bei pflanzlichen Zellen eingesetzt, wobei diese Zellen spezielle Nährlösungen und Inkubationsbedingungen erfordern.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Dank

Dem Zellkultur-Labor des Instituts für Physiologische Chemie der Universität Mainz danke ich für die Überlassung von Zellen zur Herstellung von Präparaten und Mikrofotos.

Literaturhinweise

Abou-Mandour, A. A.: Zell- und Gewebekulturen – ihre Bedeutung für die Pflanzenforschung. Biologie in unserer Zeit *26*, 35–42 (1996).
Caplan, A. I.: Knorpel. Spektrum der Wissenschaft, Dezember 1984, 106–115 (1984).
Carrel, A.: On the permanent life of tissues outside of the organism. J. exp. Med. *43*, 516–528 (1912).
Eagle, H.: Nutrition needs of mammalian cells in tissue culture. Science *122*, 501–504 (1955).
Eagle, H.: Amino acid metabolism in mammalian cell culture. Science *130*, 432–437 (1959).
Earle, W. R.: Production of malignancy in vitro. IV. Mouse fibroblast cultures and changes seen in the living cells. J. Nat. Cancer Inst. *4*, 165–212 (1943).
Feder, J., Tolbert, W.: Säugerzellen in Massenkultur. Spektrum der Wissenschaft, März 1983, 44–52 (1983).
Gey, G. O., Coffman, W. D., Kubicek, M. T.: Tissue culture studies on the proliferative capacity of cervical carcinoma and normal epithelium. Cancer Res. *12*, 264–265 (1952).
Goldberg, A., Frazier, J.: Alternativen zum Tierversuch in der Toxizitätsprüfung. Spektrum der Wissenschaft, Dezember 1989, 94–102 (1989).
Golde, D. W.: Transplantation von Stammzellen des Knochenmarks. Spektrum der Wissenschaft, Februar 1992, 70–78 (1992).
Gottwald, E.: Gewebezüchtung – Hilfsarbeiter für die Leber. Spektrum der Wissenschaft, Januar 2002, 44–51 (2002).
Green, H.: Zellkulturen für Transplantate. Spektrum der Wissenschaft, Januar 1992, 66–73 (1992).
Green, L. A., Tischler, A. S.: Establishment of a noradrenergic clonal line of rat adrenal pheochromocytoma cells which respond to nerve growth factor. Proc. Natl. Acad. Sci. USA *75*, 2424–2428 (1976).
Griesbach, H., Hahlbrock, K.: Pflanzliche Zellkulturen zur Aufklärung von Biosynthesewegen. Biologie in unserer Zeit *7*, 170–177 (1977).
Harrison, R. G.: Observations on the living developing nerve fiber. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. *4*, 140–143 (1907).
Paul, J.: Zell- und Gewebekulturen. Walter de Gruyter Verlag, Berlin 1980.

Verfasser: Dr. Armin Maidhof, Im Sampel 54, D-55246 Mainz-Kostheim

Nachricht

12. Treffen der Mikroskopiker auf dem Wohldenberg

Zum 12ten Mal trafen sich die Mikroskopiker, eingeladen von der Mikroskopischen Arbeitsgemeinschaft Hannover, auf dem Wohldenberg. 23 Teilnehmer aus den Niederlanden, Österreich und allen Regionen der Bundesrepublik waren angereist.
Wie schon in den vergangenen Jahren lag der Schwerpunkt in der Verarbeitung von botanischen und histologischen Schnitten, die Herr Karl Brügmann als Paraffinschnitte mitbrachte. Vor Ort wurden die Schnitte über verschiedene Stufen von Rotihistol und Isopropylalkohol entparaffiniert und in Wasser überführt. Die weiteren Schritte (Färben, Differenzieren, Eindecken) mussten die Teilnehmer selbst durchführen. Für die Färbungen der botani-

Abb. 1: Die Teilnehmer des 12. Treffens auf dem Wohldenberg (Fotos: Günther Zahrt, Berlin).

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Abb. 2: Adolf Lohr erläutert den Gebrauch einer Diamantsäge zu Schneiden von Gesteinen.

schen Schnitte wurden die bewährte Etzold-Färbung und die von Karl Brügmann modifizierte Färbung mit Alciangrün verwendet. Die interessanten Schnitte von tierischen/menschlichen Geweben wurden in der Gomori-Färbung und in einer abgewandelten Azanlösung gefärbt. Auch uneingebettete Holzschnitte wurden zu schönen Dauerpräparaten verarbeitet, und es lag an der Geschicklichkeit jedes Einzelnen, diese welligen Schnitte weiter zu verarbeiten. Besonders schön kam hier der Übergang vom Holz zur Rinde zur Geltung; oft gibt es hier Zerreißungen am meristematischen Gewebe, das als weiches Wachstumsgewebe zwischen Holz und Rinde liegt.

Auch die Mineralogie kam nicht zu kurz. Die Herren Erwin Heiser und Adolf Lohr hatten das gesamte Equipment zur Herstellung eines Gesteinsdünnschliffes mitgebracht. Von der Gesteinspresse bis zum Ultraschallgerät war alles vorhanden. Ein vorbereiteter Gabbro wurde zugeschnitten, auf Objektträger geklebt und nach dem Festwerden des Klebstoffes (am nächsten Tag) bis auf einen halben Millimeter abgesägt. Den Feinschliff auf circa 30 µm mit Hilfe von Schleifpulver auf angefeuchteten Glasplatten mussten die Teilnehmer dann selbst vornehmen; da in den vergangenen Jahren schon regelmäßig Gesteinsschliffe angefertigt worden waren, konnten alle ein (besonders im polarisierten Licht) schönes Präparat mitnehmen.

Herr Klaus Henkel hielt einen Diavortrag über Pollen und die von ihnen ausgelösten Allergien. Herr Uwe Schmidt von der Firma Wella stellte auf einfachem Wege Haarquerschnitte her und erläuterte den Einfluss physikalischer und chemischer Einwirkungen auf unsere Haare. Die Medizinstudentin Sabine Hasse, die aus Hannover angereist war, hielt einen Vortrag über die Funktion der Niere. Da Herr Brügmann allen Teilnehmern zwei Präparate der Niere mitgebracht hatte, konnte im Anschluss an die Ausführungen das etwas schwierige Problem des Austausches Blut/Harn an den Mikroskopen näher erläutert werden.

Eine besondere Attraktion war die diesjährige Exkursion nach Göttingen in das Deutsche Primatenzentrum (DPZ). Dort wurden wir vom stellvertretenden Direktor Herrn Prof Dr. F.-J. Kaup begrüßt, der auch einen einführenden Vortrag über die Aufgabenstellung des DPZ und deren Bewältigung hielt. In der anschließenden Diskussion wurden auch kritische Fragen zum Tier- und Umweltschutz ausführlich und umfassend beantwortet. Das DPZ gehört mit etwa 80 anderen, unabhängig arbeitenden Institutionen der Leibnitz Gemeinschaft an (Wissensgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibnitz e.V.). Das DPZ forscht in den Bereichen der Reproduktionsbiologie und -medizin, der Virologie, der Immunologie, der Gentherapie, der Ökologie, der Verhaltensforschung, der Physiologie und Neurobiologie. Es untersucht Tumorerkrankungen und die erworbene Immunschwäche AIDS, die Creutzfeld-Jakob-, die Parkinson-Krankheit, und es betreibt Forschungen zur Genetik und zur Stammesgeschichte der Primaten. Somit deckt das DPZ ein breites Spektrum primatologischer Forschung ab. In dem der Einführung folgenden Rundgang über das Freigelände und durch die Tierhäuser war ein beeindruckender Vormittag zu Ende. Nochmals Dank an Prof. Dr. Kaup, dem es gelang, uns diese abseits der Arbeitsgebiete der Teilnehmer liegende Aufgabenstellung nahe zu bringen.

An den Abenden war dann Gelegenheit zum Tauschen und Handeln (bei Weißwurst und Hefeweizen, die Richard Jähner aus Lindau mitbrachte). Das Schneiden von Paraffinblöcken wurde an verschiedenen Mikrotomen geübt, wahlweise an einem Rotations- oder Schlittenmikrotom. Ein Abend war der Diavorführung gewidmet; die Herren Brügmann, Latz, Raap und Thormann zeigten Dias aus den unterschiedlichsten Bereichen der Mikroskopie. Zu danken haben wir Herrn Ernst von der Firma Olympus, der, wie schon in den vergangenen Jahren, eine Videoeinrichtung samt Mikroskop zur Verfügung stellte, auch eine Auswahl von gebrauchtem und entsprechend preiswertem Zubehör war in seinem Gepäck.

Nach dem traditionellen Grillabend mit Einbecker Bockbier führte uns am nächsten Tag Herr Brügmann in einem Spaziergang zu den Derneburger Teichen, um einiges Plankton zur Lebenduntersuchung zu bekommen. Am Sonntag ging dann eine an Erfahrungen reiche Woche mit einem kleinen Test zu Ende. Nach einer allgemeinen Diskussion, in der verschiedene Anregungen vorgebracht wurden, bedankte sich Friedrich Thormann im Namen aller Teilnehmer bei Herrn Brügmann für die vielen schönen Präparate und praktischen Anleitungen. Die meisten Mikroskopiker notierten sich bereits den möglichen Termin für 2005 in ihren Kalendern.

Friedrich Thormann, Sulzbach/Main

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Die Sprossachse des Spitzwegerich (Plantago lanceolata) – Eine clevere Turmkonstruktion?

Katharina Leimenstoll und Uwe Markstahler

Vor einigen Jahren wurde ein Artikel über biostatische Optimierungsstrategien eines ubiquitär vorkommenden Dünengrases veröffentlicht, der sich mit Optimalstrukturen im Querschnitt eines Rollblattes befasste (Markstahler, 1995). In dem gleichen Artikel wurde eine kurze Einführung in theoretische Grundlagen der Baustatik gegeben, die zur Beschreibung von statisch optimierten Querschnitten biegebeanspruchter Träger notwendig sind. Aufbauend auf dieser Grundlage beschäftigt sich dieser Artikel nun mit der Untersuchung baustatischer Optimalstrukturen der Sprossachse des Spitzwegerich *(Plantago lanceolata)*.

Die hier angestellten Untersuchungen dienen zur Klärung der Frage, inwieweit die Sprossachse in ihrem Querschnitt (Profil) und in ihrer Längsrichtung einer statisch optimierten Struktur entspricht.
Da einige Grundbegriffe zur Statik optimierter Querschnitte biegebeanspruchter Träger in dem oben genannten Artikel besprochen wurden, sollen an dieser Stelle nur diejenigen theoretischen Grundbegriffe nachgetragen werden, die für das Verständnis der Biostatik einer optimierten Längsstrukturierung von Sprossachsen notwendig sind. Es wird daher davon ausgegangen, dass der Leser mit den Begriffen: äußeres Moment, inneres Moment und Flächenträgheitsmoment hinlänglich vertraut ist. Wer sich eingehender mit Biostatik beschäftigen will, dem sei das Studium entsprechender Fachliteratur empfohlen (siehe Literaturhinweise).

Ein physikalisches Kriterium für die Formoptimierung einer biegebelasteten Achse

Für alle Betrachtungen in diesem Aufsatz nehmen wir vereinfachend an, dass eine vertikale Achse, wie sie ein Spross darstellt, nur an der Spitze durch eine senkrecht zur Achse wirkende Kraft F (Wind) gebogen wird (Abb. 1). Aufgrund des Hebelgesetzes wirkt dann an jeder Achsenhöhe h ein von der Hebelarmlänge z abhängiges äußeres Drehmoment $M(z) = F \cdot z$, wobei $0 \leq z \leq l$ (l = Länge der Achse). In der Nähe der angreifenden Kraft ist das äußere Drehmoment M demnach nur gering, wächst aber linear mit der Hebelarmlänge z an. Ein Maximalwert für das äußere Moment ergibt sich bei einer Hebelarmlänge von z = l (l = Gesamtlänge der Achse). Die Achsenbasis ist daher immer die am stärksten biegebelastete Region. M(z)'' ist die Momentenverteilung entlang der Achse (Abb. 2b).

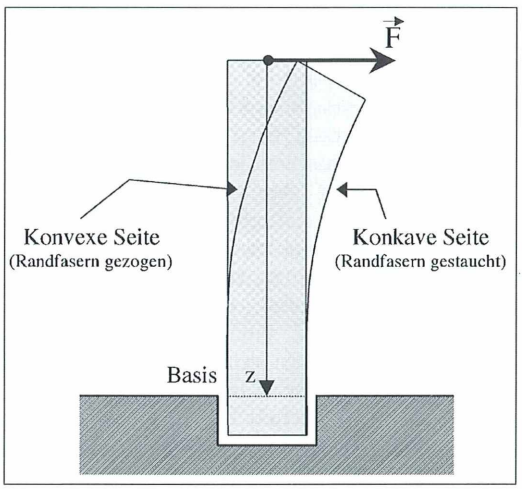


Abb. 1: Eine an der Basis fixierte Achse wird durch eine an der Spitze angreifenden Kraft F gebogen. Dabei bilden sich eine konkave druckbelastete und eine konvexe zugbelastete Seite aus.

 Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

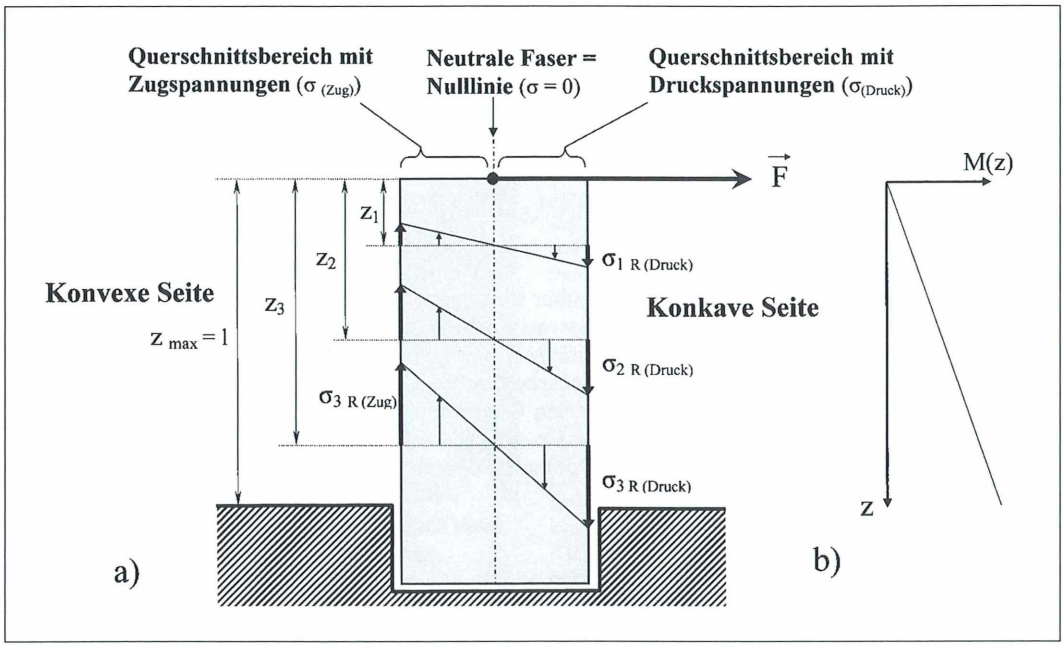


Abb. 2: a) Qualitative Darstellung der vertikalen und horizontalen Spannungsverteilung einer Achse mit konstantem Querschnitt (= unangeformter Körper). Eine Kraft F greift an der Spitze der Achse an. Je größer der Abstand z von der Spitze, desto größer sind die Druck und Zugspannungen ($\sigma_{(Druck)}$, $\sigma_{(Zug)}$). Im Randbereich sind die Druck- und Zugspannungen bezogen auf jede Querschnittsebene immer maximal. Die größten Spannungen treten im Randbereich der Achsenbasis auf. b) Funktionale Abhängigkeit des äußeren Moments M von der Hebelarmlänge z. M(z) steigt linear mit Zunahme von z an.

Das an der Achsenstelle z wirkende äußere Moment M(z) bewirkt dort ein Kippen der Querschnittsebene A(z) um ihre jeweilige neutrale Faserzone. Dabei wird das im Querschnitt lokalisierte Festigungsmaterial durch das Kippen auf der konvexen Querschnittsseite gestreckt und auf der konkaven Seite gestaucht. Jeder Achsenquerschnitt A(z) ist somit in einen druck- und in einen zugbelasteten Bereich unterteilbar (Markstahler, 1995). Maximale Streckungen beziehungsweise Stauchungen erfahren hierbei immer die Randfaserzonen (Abb. 2a).

Wenn die Randfasern reißen oder quetschen, dann bricht die Achse. Randfaserzonen sind somit die problematischen Zonen eines biegebeanspruchten Körpers. Die belastenden Kräfte – man spricht genauer von Spannungen σ (Spannung = Kraft pro Fläche) – dürfen an keiner Achsenstelle die gerade noch verträgliche kritische Spannung der Randfasern $\sigma_{R,krit}$ überschreiten, damit die Achse nicht zerstört wird.

Biegestatisch optimierte Achsen (Körper gleicher Festigkeit)

Wie müsste eine Achse in Längsrichtung angeformt sein, wenn durch entsprechende Anordnung des Festigungsgewebes dafür gesorgt wird, dass an keiner Stelle die kritische Randfaserspannung $\sigma_{R\,krit}$ überschritten wird?

Betrachten wir zunächst eine nicht optimierte, unangeformte Achse (Abb. 2a). Hier ist die absolute Biegefestigkeit wegen des konstanten Querschnitts an jeder Achsenstelle gleich groß. Dies wäre aber gar nicht nötig, da, wie wir jetzt wissen, das belastende äußere Moment linear von unten nach oben abnimmt (Abb. 2b). Im oberen Bereich würde es deshalb vollkommen genügen, wenn weniger biegefestigende Vorkehrungen getroffen werden – zum Beispiel durch kleinere Querschnittsflächenbildung und somit durch Einsparung von Festigungsmaterial. Dagegen wird es, je weiter man sich nach unten bewegt, aufgrund der zunehmenden

äußeren Belastung, immer notwendiger für mehr Biegfestigkeit zu sorgen.
Wenn nun ein biegebelasteter Körper in jeder Querschnittsebene A(z) so konstruiert ist, dass jede Achsenstelle die dort auftretende Biegebelastung gleich gut auffangen kann, dann spricht man von einem Körper gleicher Festigkeit. Viel wichtiger für die Pflanze selbst ist aber die Tatsache, dass der Material- und Energieaufwand beim Aufbau eines formoptimierten Pflanzenkörpers minimiert wird, ohne dabei auf mechanische Festigkeit verzichten zu müssen.
Mit dem axialen Flächenträgheitsmoment J existiert ein exaktes Maß, das die Biegefestigkeit eines Trägers allein aus der geometrischen Anordnung und unabhängig von den Materialeigenschaften des Baumaterials quantifiziert. Dabei gilt: Je höher das Flächenträgheitsmoment eines Trägerquerschnitts bei einer gleichen Menge Festigungsmaterial, desto biegefester und knickfester ist der Träger (Markstahler, 1995). Mit Bezug auf den exakten Begriff des Flächenträgheitsmoments lässt sich daher sagen: Ein axialer Körper gleicher Festigkeit zeichnet sich dadurch aus, dass jede Querschnittsebene Flächenträgheitsmomente J(z) aufweist, welche die an der Stelle z zu erwartenden äußeren Momente M(z) gerade kompensieren. Die Biegefestigkeiten der Querschnittsebenen sind damit nicht absolut gleich, wie bei einem unoptimierten Körper, sondern stehen jeweils in Relation zur gegebenen Belastung der betreffenden Achsenstelle. Aus diesen Überlegungen lässt sich ein allgemeines physikalisches Kriterium für einen Körper gleicher Festigkeit ableiten, das schließlich zu folgender physikalischer Beziehung führt (Böge, 1984):

$$\sigma_R(z) = \frac{M(z)}{J(z)} \cdot e(z) = \text{const.}$$

$$\text{mit der Definition } W(z) = \frac{J(z)}{e(z)}$$

$$\Rightarrow \sigma_R(z) = \frac{M(z)}{W(z)} = \text{const.}$$

Gleichung 1: Anformungsbeziehung für einen Körper gleicher Festigkeit. σ_R = Randspannung an der Stelle z; M(z) = Außenmoment an der Stelle z; J(z) = Flächenträgheitsmoment an der Stelle z; e(z) = Randfaserabstand an der Stelle z.

Die Formel ermöglicht die Berechnung der Randfaserspannung σ_R jeder Achsenstelle z. Durch die Konstanzbedingung verlangt sie, dass die baustatisch relevanten geometrischen Querschnittsgrößen J und e jeder Achsenstelle so beschaffen sind, dass sie die jeweils dort auftretenden Biegemomente M(z) an allen Stellen gleich gut ausgleichen. Man fasst zur Vereinfachung des Ausdrucks das Verhältnis von J zu e zusammen und definiert es als Widerstandsmoment W(z). Es errechnet sich aus dem Flächenträgheitsmoment J geteilt durch den Abstand e der Randfaser von der neutralen Faserzone, die als Kippachse innerhalb eines Querschnitts verstanden werden kann; e bezeichnet man als Randfaserabstand. Das Widerstandsmoment W ist somit ein durch den Randfaserabstand e gewichtetes Flächenträgheitsmoment J.
Kurz: Ein Körper ist somit genau dann ein Körper gleicher Festigkeit, wenn an jeder Achsenstelle z das Verhältnis des dort auftretenden belastenden äußeren Moments M und des dort vorhandenen festigenden Widerstandsmoments W konstant ist. Körper, die in ihrem Aufbau Gleichung 1 entsprechen, weisen nirgends kritische Schwachstellen beziehungsweise präformierte Bruchstellen auf, weil die Spannungsverteilung $\sigma(z)$ entlang der Achse überall gleich groß gehalten wird.

Fragestellung zum Spitzwegerich

Handelt es sich bei der Sprossachse des Spitzwegerich um einen Körper gleicher Festigkeit? Inwieweit ist die Sprossachse in Längsrichtung optimal angeformt? Zur Beantwortung dieser Fragen müssen wir „nur" Widerstandsmomente W(z) an verschiedenen Stellen z entlang der Sprossachse bestimmen.
In einem zweiten Schritt lässt sich dann mit Hilfe der Anformungsgleichung (Gleichung 1) überprüfen, inwieweit das Verhältnis der an den Stellen z zu erwartenden äußeren Momente M(z) und der dort gemessenen Widerstandsmomente W(z) konstant ist. Außerdem wollten wir Sprossachsenquerschnitte A(z) hinsichtlich optimierter biostatischer Strukturen untersuchen.

Material und Methode

Es wurden bewusst lange und gut entwickelte Sprossachsen von freistehenden, Wind exponierten Pflanzen verwendet, weil wir davon ausgegangen sind, dass diese Exemplare Phä-

 Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

notypen darstellen, die ihr volles modifikatorisches Repertoire bezüglich biegestatischer Absicherung exprimiert haben, und man deshalb an ihnen baustatische Besonderheiten besonders gut erkennen kann.
Aus definierten Achsenstellen z eines frischen voll turgeszenten Sprosses wurden Handquerschnitte direkt in Safranin gefärbt und danach sofort fotografiert (Abb. 3). In den meisten Fällen mussten mehrere Fotos des gleichen Schnittes angefertigt werden, um die ganze Querschnittsfläche zu erfassen. Fixierungen und Dehydrierungsschritte wurden bewusst vermieden, damit keine Schrumpfungsartefakte entstehen, welche die Messung geometrischer Größen verfälschen würden.

Vermessen der histologischen Schnitte

Die Bildausschnitte gleicher Achsenebenen wurden zu einem Gesamtbild zusammengesetzt. Dazu wurden die Dias in einen Computer eingescannt und mit einem Grafikprogramm weiterverarbeitet.
Für die Bestimmung der baustatischen Kenngrößen wurden zur Minimierung der Messfehler zusätzlich große maßstabsgetreue Querschnittsmodelle hergestellt. Hierfür wurden die einzelnen Bildausschnitte ausgedruckt und passend auf festen Karton miteinander verklebt. Von den so erhaltenen stark vergrößerten Querschnittmodellen wurden mit Hilfe einer Nadel die jeweiligen Massenschwerpunkte S bestimmt. Die Umrisse der Safranin gefärbten Flächenanteile jedes Querschnitts wurden auf Millimeterpapier übertragen. Danach wurde durch die Massenschwerpunkte jedes Querschnittmodells ein Achsenkreuz gelegt. Die durch den Schwerpunkt verlaufenden Achsen liegen damit auf neutralen Faserzonen (Markstahler, 1995; Abb. 4). Es wurde darauf geachtet, dass jeder Schnitt in Bezug zur x- und y-Achse gleich ausgerichtet war. Dann wurde die umrandete Fläche in Abständen von einem Zentimeter parallel zur x-Achse, beziehungsweise zur y-Achse unterteilt. Protokolliert wurden die gemessenen Teilflächen ΔA_n (in mm^2) sowohl in Bezug zur x als auch zur y-Achse, sowie die entsprechenden mittleren Abstände x_n und y_n (in mm^2) der Teilflächen von den jeweiligen Bezugsachsen (Abb. 4; Glaser, 1986).

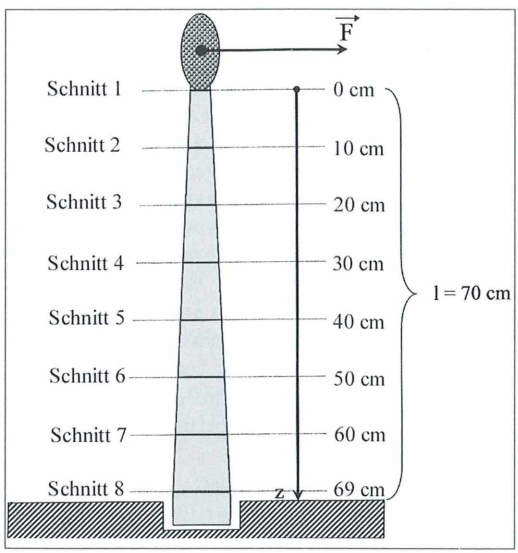


Abb. 3: Bereiche der Sprossachse aus denen histologische Querschnitte hergestellt wurden. Die Gesamtlänge der Sprossachse betrug l = 70 cm. Die z-Achse beschreibt die Hebelarmlänge.

Bestimmung der baustatischen Kenngrößen

Für jeden Schnitt wurden aus den gemessenen geometrischen Rohdaten folgende baustatische Kenngrößen berechnet:
1. axiale Flächenträgheitsmomente bezogen auf die x- und auf die y-Achse: $J_x = \sum \Delta Ax_n \cdot y_n^2$ und $J_y = \sum \Delta Ay_n \cdot x_n^2$
2. mittleres Flächenträgheitsmoment: $I_m = (I_x + I_y) : 2$
3. axiale Widerstandsmomente bezogen auf die x- und y-Achse: $W_x = I_x : y_{max}$ und $W_y = I_y : x_{max}$ ($y_{max} = e_y$ = Randfaserabstand zur y-Achse; $x_{max} = e_x$ = Randfaserabstand zur x-Achse)
4. mittleres Widerstandsmoment: $W_m = (W_x + W_y) : 2$

Alle baustatische Kenngrößen werden in relativen Einheiten angegeben, was zur Beantwortung unserer Fragestellung genügt.

Ergebnisse unserer Betrachtung der Achsenquerschnitte (Profilierung)

Die Anatomie der Sprossachse gleicht sich oberhalb des basalen Bereichs in allen Achsenquerschnitten (Abb. 5 und 6): Im Inneren findet sich unverholztes Markparenchym, das von ei-

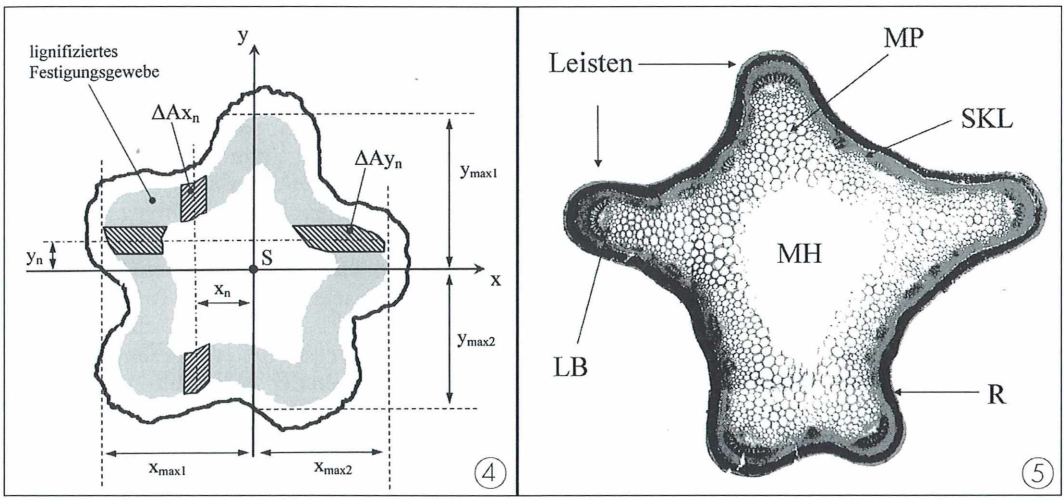


Abb. 4: Übersicht der gemessenen baustatischen Kenngrößen. ΔA_n = Teilfläche, S = Schwerpunkt des Schnittes, x_n = mittlerer Abstand der Teilfläche ΔAx_n von der y-Achse, y_n = mittlerer Abstand der Teilfläche ΔAy_n von der x-Achse, $x_{max} = e_x$ = Mittelwert der maximalen Randfaserabstände x_{max1} und x_{max2}, $y_{max} = e_y$ = Mittelwert der maximalen Randfaserabstände y_{max1} und y_{max2}. – Abb. 5: Schnitt aus dem mittleren Bereich der Sprossachse (z = 50 cm). MH Markhöhle, MP unverholztes Markparenchym, LB Leitbündel, SKL sklerenchymatisches Festigungsgewebe, R chlorophyllhaltiges Rindenparenchym mit aufgelagerter Epidermis. Wichtig: Der Querschnitt ist nicht radiärsymmetrisch.

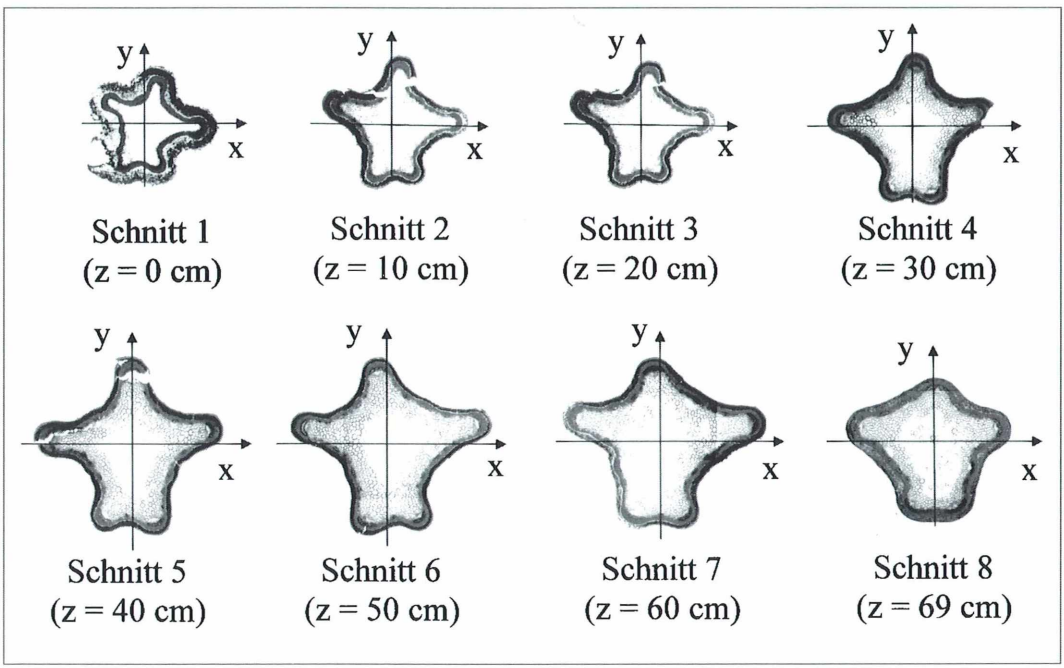


Abb. 6: Übersicht der Querschnitte aus verschiedenen Sprossachsenebenen. Die Schnittreihenfolge erfolgt von oben nach unten. In allen Sprossquerschnitten erkennt man peripher lokalisiertes Safranin gefärbtes Festigungsgewebe, das für die biostatischen Betrachtungen maßgebend war. Im Inneren der Sprossachsen erkennt man unverholztes Markparenchym und die zellfreie Markhöhle. Die Querschnitte sind nicht radiärsymmetrisch.

 Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

ner gewebsfreien Markhöhle durchbrochen ist. Das Markparenchym ist von verholztem Festigungsgewebe umgeben, in das Leitbündel eingelagert sind. Schließlich folgt chlorophyllhaltiges Rindenparenchym mit aufgelagertem Epidermisgewebe. Die äußere Geometrie der Querschnitte ist gekennzeichnet durch fünf leistenartige Auswüchse. In den außen liegenden Leistenkappen ist der Anteil an Festigungsgewebe verhältnismäßig hoch. In die Leisten eingelagert ist der verholzte xylematische Anteil der Leitbündel.

Durch die periphere Anordnung des Festigungsgewebes werden große Flächenträgheitsmomente und große Widerstandsmomente erzeugt, die eine effiziente Biegeversteifung der Achse bewirken. Ein besonders großer Beitrag für die Biegeversteifung liefern die leistenartigen Auswüchse. Sie erhöhen durch ihre exponierte Lage das Flächenträgheitsmoment des Querschnitts in hohem Maße, da das Flächenmoment mit dem Quadrat der Achsenabstände x_n aller Teilflächen A_n zunimmt.

Eine idealisierte Reduktion auf die effektiv wirksamen Festigungselemente und deren Anordnung zeigt Abbildung 7. Die Leistenkappen entsprechen im Modell Flanschen. Sie sind als Hauptträger der Biegebelastung maximal vom Achsenschwerpunkt entfernt. Die Flansche werden durch Stege gehalten. Durch die spangenartige Form erhalten die Stege eine gewisse Formelastizität ähnlich einer Biegefederung. Wird die Achse gebogen, dann werden die Flansche durch die nach Außen weisenden Stegarme nach Außen gedrückt. Auf diese Weise wird dafür gesorgt, dass die Flansche auch bei Achsenbiegung in der Peripherie gehalten werden. Würden die Stege bei einer Achsenbiegung nämlich geringfügig nach Innen verschoben, dann würde der betroffene Achsenquerschnitt sehr schnell an Biegestabilität verlieren, da das Flächenträgheitsmoment durch die Verkleinerung der Achsenabstände x_n quadratisch abnehmen würde. In einem solchen Falle könnte ein sich selbst verstärkender Prozess in die Wege geleitet werden, der zum plötzlichen Knicken der Achse führen würde.

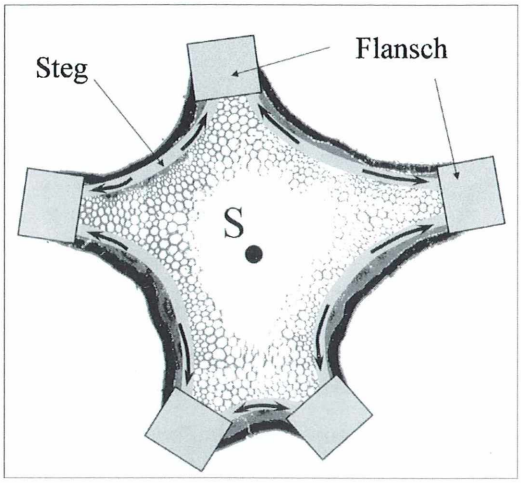


Abb. 7: Schematisierte Darstellung der lastaufnehmenden Strukturen im Sprossquerschnitt.

In der Baustatik unterscheidet man Festigkeitsprobleme, die auf Überlastung des Festigungsmaterials zurückzuführen sind, von Stabilitätsproblemen. So gibt es Träger wie zum Beispiel schlanke Achsen, die ohne vorherige Ankündigung bei ganz bestimmten Grenzbelastungen plötzlich extreme Formänderungen einnehmen, obwohl die Festigkeitswerte des Materials nirgends überschritten wurden. Diese abrupte Formänderung erfolgt also nicht aufgrund von Ermüdungserscheinungen des Materials oder durch Rissbildung. Dahinter stecken vielmehr kleinste Formschwankungen, die sich aufgrund einer instabilen Lage des Trägers, lawinenartig zu einer makroskopischen, zerstörerischen Zustandsänderung aufschaukeln können.

Vor allem sind schlanke lange Vertikalachsen, wie sie auch die Sprossachse des Spitzwegerichs darstellt, in hohem Maße knick- und beulungsgefährdete Strukturen. Möglicherweise enthält der Querschnitt durch die besonderen Steg- und Flanschverbindungen neben einer Festigkeits- auch eine Stabilitätsoptimierung.

Überraschend für unsere Untersuchung war die Tatsache, dass die Querschnitte – insbesondere aus dem mittleren Achsenbereich – nicht wie vermutet eine deutliche radiärsymmetrische-, sondern eher eine zygomorphe Geometrie aufwiesen. Wir vermuteten deshalb, dass sich die axialen Flächenträgheitsmomente und damit auch die Widerstandsmomente in diesem Achsenbereich bezüglich der x- und der y-Achse deutlich unterscheiden. Interessanterweise ließen sich aber durch Messung keine klaren Unterschiede nachweisen. Sowohl die axialen Flächenträgheitsmomente als auch die axialen Widerstandmomente waren bezüglich x- und y-Achse weitgehend identisch (Abb. 8). Trotz einer äußerlich einseitig aussehenden Symmetrie, schafft es die Pflanze anscheinend ihr Festi-

gungsmaterial in der Sprossachse so anzuordnen, dass die Biegefestigkeit trotzdem allseitig gleich groß gehalten wird. Dies macht insofern auch Sinn, da sich eine Pflanze für jede Angriffsrichtung gleichermaßen gegen Knickung schützen und absichern muss, denn nur so ist ihr Überleben gewährleistet.

Trotzdem stellt sich die Frage, ob die Zygomorphie nur zufällig entstanden und für die Pflanze bedeutungslos ist, oder ob sich dahinter vielleicht doch ein biologischer Zweck verbirgt. Eine mögliche Spekulation wäre, dass die zygomorphe Profilierung des Querschnitts eine Anpassung an einseitige Windbedingungen des Standortes darstellt. In unseren Breiten herrschen Westwinde vor. Es wäre also denkbar, dass die Sprossachse durch ihre einseitige Profilierung gegen Westen, einen günstigen Strömungswiderstand erzielt. Um diese Frage zu beantworten, könnte in weiteren Untersuchungen festgestellt werden, ob die Zygomorphie in einem festen Bezug zur Himmelsrichtung steht, oder ob sie unregelmäßig und zufällig vorkommt.

Ein interessanter Aspekt soll in diesem Zusammenhang nicht unerwähnt bleiben. Durch die Leistenstruktur aus Festigungsgewebe erhält die Sprossachse von Außen betrachtet Rillen, so dass eine turbulente Strömung erzwungen und bezogen auf den umströmten Achsenquerschnitt vorverlegt wird. Dies könnte insofern von Vorteil sein, als sich dadurch der Stängel schon früh, das heißt schon bei geringen Windgeschwindigkeiten im überkritischen Strömungsbereich befindet. Bei überkritischer Umströmung mit turbulenter Grenzschicht sind die Widerstandsbeiwerte deutlich kleiner und besser. Die Rillen im Stängel würden dann zusätzlich dafür sorgen, dass Windkräfte in ihrer schädlichen Wirkung auf die Sprossachse gemindert werden (Nachtigall, 2000).

Der basale Achsenquerschnitt unterscheidet sich von den übrigen in mehrerer Hinsicht. Schon beim Anfertigen der Querschnitte fiel uns auf, dass im unteren Achsenbereich ein höherer Verholzungsgrad vorliegen muss. Dies wurde durch die Safraninfärbung bestätigt. Der sklerenchymatische Anteil ist hier sehr massiv entwickelt. Sowohl das Rindenparenchym als auch das Markparenchym sind verholzt. Im Markparenchym ist zudem keine Markhöhle ausgebildet. Die basale Achse ist somit sehr kompakt aufgebaut.

Vergleicht man die Randfaserabstände aller Querschnitte, dann zeigt sich eine plötzliche Abnahme im Bereich der Basis (Abb. 9). Bedingt

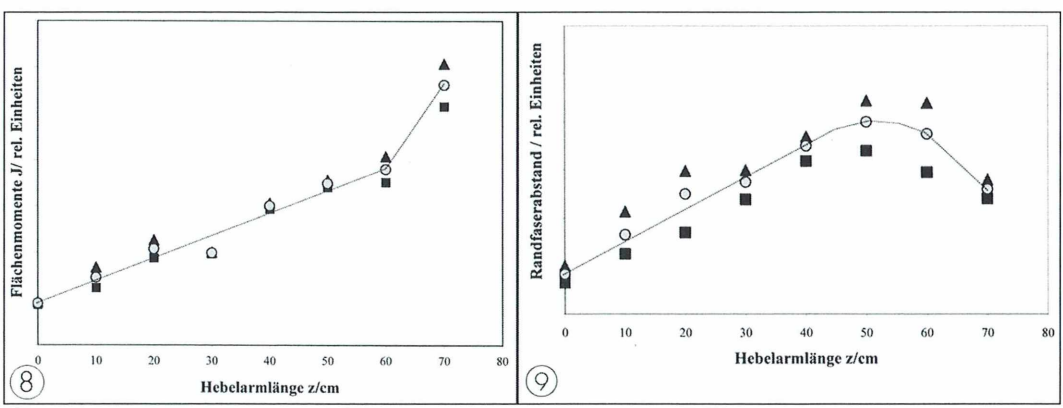


Abb. 8: Flächenträgheitsmomente an verschiedenen Achsenstellen z. ▲ = J_x (Flächenträgheitsmoment bezüglich der x-Achse); ■ = J_y (Flächenträgheitsmoment bezüglich der y-Achse); ● = J_m (mittleres Flächenträgheitsmoment). Man erkennt im Bereich von z = 0 cm bis 60 cm einen annähernd linearen Anstieg der Flächenträgheitsmomente. An der Achsenbasis, also ab z = 60 cm, nimmt der Anstieg der Flächenträgheitsmomente abrupt zu. Die Flächenträgheitsmomente J_x und J_y weichen nicht signifikant voneinander ab, obwohl die Querschnitte keine Radiärsymmetrie aufweisen. – Abb. 9: Randfaserabstände an verschiedenen Achsenstellen. ▲ = e_x (Randfaserabstand bezüglich der x-Achse); ■ = e_y (Randfaserabstand bezüglich der y-Achse); ● = e_m (mittlerer Randfaserabstand). Die Randfaserabstände steigen bis z = 50 cm linear an. Ab z = 50 cm fallen die Randfaserabstände ab.

 Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

durch den kleinen Randfaserabstand und den hohen Verholzungsgrad, was sich in einer starken Erhöhung der axialen Flächenträgheitsmomente widerspiegelt, ergibt sich aufgrund der Beziehung W=J/e in diesem Achsenbereich ein plötzlicher Anstieg der Widerstandswerte (Abb. 10). Auf eine mögliche Bedeutung dieser Sachverhalte wird in der folgenden Diskussion über die vertikale Achsenanformung eingegangen.

Betrachtung der vertikalen Achsenform (Vertikale Anformung)

Die konische Form der Sprossachse lässt vermuten, dass die Konstruktion auch in vertikaler Richtung baustatisch optimiert ist. Unsere Frage war nun, inwieweit es sich bei der vertikalen Achsenstruktur um einen Körper gleicher Festigkeit handelt. Die Auftragung der Widerstandsmomente gegen die Hebelarmlänge zeigt, dass die Widerstandsmomente mit der Hebelarmlänge weitgehend linear ansteigen. Nur im basalen Bereich nehmen die Widerstandsmomente mit der Hebelarmlänge noch stärker zu (Abb. 10).

Wir berücksichtigen für unsere Berechnung zunächst nur den linear ansteigenden Kurvenbereich. Dieser Bereich lässt sich durch eine Geradengleichung folgender Form approximieren: $W = c \cdot z + b$. Hierbei bedeutet z die Hebelarmlänge, c entspricht der genäherten Geradensteigung und b entspricht dem y-Achsenabschnitt, der Null gesetzt wird, da er für unsere Betrachtung irrelevant ist.

Zur Vereinfachung geht man davon aus, dass die äußere Kraft F nur am obersten Punkt der Sprossachse ansetzt. In Wirklichkeit handelt es sich aber um eine komplizierte Streckenlast, die an der gesamten Sprosslänge mit unterschiedlicher Stärke angreift. Trotzdem wird der Fehler durch diese Vereinfachung nicht sehr groß, da die größte Windlast tatsächlich an der Spitze wirkt. So werden beispielsweise durch andere tiefer stehende Pflanzen der mittlere und der unterer Achsenbereich vor Windkräften geschützt. Die exponierte Blüte an der Achsenspitze bietet daher die größte Angriffsfläche für Windströmungen. Für das äußere Biegemoment gilt daher die einfache Beziehung: $M = F \cdot z$ wobei F als konstante Kraft angenommen wird. Das Verhältnis von Biegemoment M und Widerstand W errechnet sich dann durch:

$$\frac{M}{W} = \frac{c \cdot z}{F \cdot z} = \frac{c}{F} = \text{const.}$$

Das bedeutet, dass die Sprossachse des Spitzwegerich in weiten Teilen mit guter Nähe-

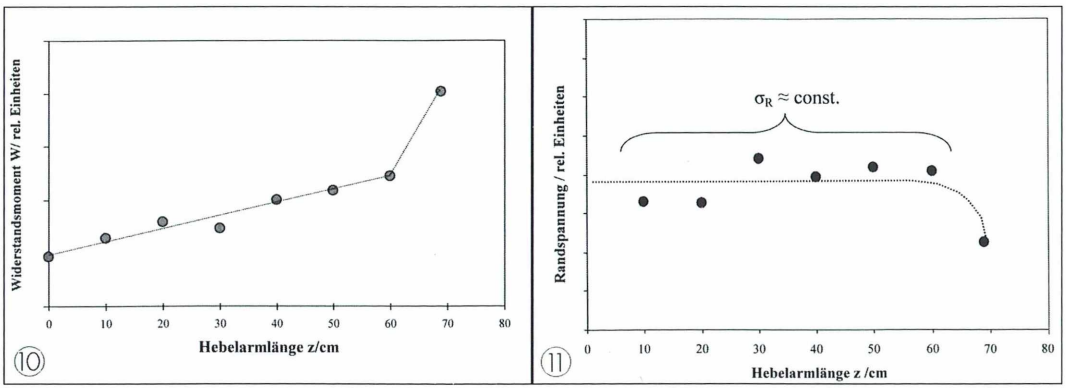


Abb. 10: Darstellung der mittleren Widerstandmomente als Funktion der Hebelarmlänge z. Im Bereich von 0 cm bis 60 cm Tiefe steigen die mittleren Widerstandsmomente linear an. An der Basis steigt das Widerstandsmoment stärker an. – Abb. 11: Darstellung der Randfaserspannungen σ_R als Funktion der Hebelarmlänge z. Die Randfaserspannungen sind bis auf die Basis (z = 70 cm) entlang des Hebelarms z annähernd konstant. Dies bedeutet, dass es sich bei der Sprossachse um einen Körper gleicher Festigkeit handelt. Die Basis zeichnet sich durch relativ geringe Randfaserspannungen aus – ein Zeichen für die verstärkte Festigung dieses Achsenabschnitts.

rung dem Kriterium für einen Körper gleicher Festigkeit entspricht (Gleichung 1; Abb. 11). Damit ist gezeigt, dass die Achse nicht nur in ihrem Profil, sondern auch in ihrer Längsanformung baustatische Optimierungen enthält.

Wirkt die Achsenbasis als Zugkraftfilter?

Wie wir vorher schon angesprochen haben, zeichnet sich die Achsenbasis im Vergleich zur restlichen Achse durch ein besonders großes Flächenträgheitsmoment und Widerstandsmoment aus. In beiden Schaubildern (Abb. 8 und 10) wächst die Kurve im basalen Achsenbereich sprunghaft an. Diese Tatsache kann man folgendermaßen erklären: Wie vorher schon erwähnt, ist die Belastung an der Basis aufgrund des dort maximal ausgeprägten äußeren Biegemoments M(z) am größten. Da die Biegebelastung aber nicht nach unten an weitere biegsame Sprossachsenabschnitte abgeleitet werden kann, muss sich die Pflanze hier besonders gegen eine mögliche Knickung schützen. Die inneren Druckkräfte werden in diesem Bereich auf den gesamten kompakten Basiskörper verteilt, wohingegen die inneren Zugkräfte auf die Wurzel übergeleitet werden. Wir haben es hier möglicherweise mit einer Struktur zu tun, die wie ein Kraftfilter wirkt: Schädigende Druckkräfte werden dabei durch Verteilung auf den kompakten Basiskörper zurückgehalten, wohingegen Zugkräfte selektiv an die Wurzel abgeleitet beziehungsweise zur zugoptimierten Wurzel durchgelassen werden. Das Flächenträgheitsmoment wird an der Basis deshalb nicht durch die Vergrößerung der Randfaserabstände erhöht, sondern durch eine verstärkte Einlagerung von lignifiziertem Festigungsgewebe (Abb. 6, Schnitt 8).

Abb. 12: Freistehender Leuchtturm, der nicht nur starken Winden sondern bei stürmischem Wetter auch meterhohen Wellen standhalten muss. Die Anformung des Turms bildet die Verteilung der Widerstandsmomente entlang der Turmachse ab.

Die Sprossachse im Vergleich zu künstlichen Turmkonstruktionen

Auch künstliche von Ingenieuren geplante Vertikalkonstruktionen müssen prinzipiell den gleichen statischen Kraftverhältnissen Rechnung tragen wie pflanzliche Sprossachsen. Hier bietet es sich an, die Sprossachse des Spitzwegerich mit einem Leuchtturm zu vergleichen. Wie vertikale Sprossachsen, so sind in besonderem Maße auch im Meer freistehende Leuchttürme seitlich angreifenden Wind- und Wasserkräften ausgesetzt. Das stabilisierende Material wurde bei der Konstruktion sicherlich so eingesetzt, dass es baustatischen Optimierungskriterien gehorcht.
In extrem beanspruchten Leuchtturmkonstruktionen, die dem stürmischen Aufprall seitlich heranrollender Meerswogen standhalten müssen, bildet sich die Widerstandverteilung entlang der Turmachse augenfällig ab (Abb. 12). Aufgrund vergleichbarer statischer Anforderungen ähneln sich deshalb die Außenlinie eines Leuchtturms und die Widerstandsverteilungskurve der untersuchten Sprossachse in weiten Teilen (Abb. 10 und 12).
Wie beim Spitzwegerich ist auch bei frei im Meer stehenden Leuchttürmen die Basis durch überproportionale Vergrößerung des Durchmessers besonders gefestigt. Allerdings darf man die Analogisierung nicht zu weit treiben, da Leuchttürme nicht wie pflanzliche Sprossachsen aus biegsamem elastischem Material aufgebaut sind (Vogel, 2000).

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Anregungen zu weiterführenden Experimenten

Wie wir nun gesehen haben, handelt es sich bei der Sprossachse des Spitzwegerich mit großer Wahrscheinlichkeit sowohl in seiner horizontalen Profilierung als auch in seiner vertikalen Anformung um eine baustatische Optimalstruktur. Allerdings müsste man für eine Absicherung der hier diskutierten Vermutungen den Stichprobenumfang vergrößern.
Weiterhin könnte untersucht werden, inwieweit die richtungsabhängigen c_w-Werte des Achsenprofils mit den standortabhängigen Windverhältnissen korrelieren.

Danksagung
Diese Arbeit ist im Rahmen eines Seminarkurses der Oberstufe im Kolleg St. Sebastian (Stegen im Schwarzwald) entstanden. Bedanken wollen wir uns insbesondere bei Oberstudiendirektor E. Breckel, der uns die notwendigen Sachmittel zur Verfügung stellte.

Literaturhinweise

Böge, A.: Mechanik und Festigkeitslehre. Vieweg-Verlag, Braunschweig 1984.
Braune, W., Leman, A., Taubert, A.: Pflanzenanatomisches Praktikum I. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1983.
Glaser, R.: Biophysik. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1986.
Mattheck, C.: Design in der Natur. Rombach-Verlag, Freiburg 1983.
Markstahler, U.: Der Strandhafer (*Ammophila arenaria*) – Ein Beispiel für eine optimierte Konstruktionsform. Mikrokosmos *84*, 225–234 (1995).
Nachtigall, W.: Biomechanik. Vieweg-Verlag, Braunschweig/Wiesbaden 2000.
Vogel, S.: Von Grashalmen und Hochhäusern. WILEY-VCH Verlag, Weinheim 2000.

Verfasser: Katharina Leimenstoll, Ibentalstr. 1, D-79199 Kirchzarten, und Dr. Uwe Markstahler, Keltenring 17, D-79199 Kirchzarten, Tel. 07661/904385, e-mail: markstahler@t-online.de

Kurze Mitteilung

Braunalgen-Flechten

Flechten (Lichenen) werden definiert als Assoziationen von Pilzhyphen (Mycobionten) und niederen Algen (Phycobionten). Diese symbiontischen Verbände stellen eine mehr oder weniger stabile morphologische und physiologische Einheit dar. Als Mycobionten kommen fast ausschließlich Ascomyceten, selten Basidiomyceten vor. Als Phycobionten werden meist einzellige oder fädige Cyanophyceen (Blaualgen) oder Grünalgen gefunden. Neuerdings wurde nun auch eine Flechte entdeckt, deren Phycobiont eine Braunalge (Phaeophyceae) ist, nämlich *Petroderma muciliforme*, und deren Mycobiont, die Pyrenomycete *Verrucaria tavaresiae* ist. An in Harz eingebetteten Handschnitten konnte die symbiontische Natur, das Eindringen der fädigen Pilzhyphen in die benachbarten Algenzellen, beobachtet werden. Die in der oberen Gezeitenzone vorkommende marine Flechte stellt also eine echte symbiontische Assoziation dar.

Literaturhinweis

Sanders, W. B., Moe, R. L., Ascaso, E.: The intertidal marine lichen formed by the pyrenomycete fungus *Verrucaria tavaresiae* (Ascomycotina) and the brown alga *Petroderma muciliforme* (Phaeophyceae): Thallus organization and symbiontic interaction. American Journal of Botany *91*, 515–522 (2004).

H. F. Linskens, Nijmegen

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Mikro-Lyrik

Ernst Haeckel als begeisteter und begnadeter Briefeschreiber

Vernimmt man den Namen Ernst Haeckel, so denkt man wohl spontan an einen herausragenden Naturforscher, der seine Ergebnisse in entsprechenden, streng wissenschaftlich verfassten Veröffentlichungen niedergelegt hat. Dass er während einer Italienreise 1859/60 deutlich emotional gefärbte Briefe an seine Geliebte Anna Sethe geschrieben hat, die von seiner außerordentlichen Begeisterungsfähigkeit für die Natur zeugen, ist vielleicht weniger bekannt. An einem Brief soll beispielhaft gezeigt werden, wie sehr er sich an der Natur erfreuen konnte – und wie sehr er in seine Anna verliebt war (Abb. 1).

An Anna Sethe *Messina, 16.2.1860*

... Der glücklichste Tag – wahrscheinlich in wissenschaftlicher Beziehung der glücklichste für mein ganzes Leben – war der 10. Februar, wo ich, als ich früh wie gewöhnlich mit dem feinen Netz auf den Fang ausfuhr, nicht weniger als 12 (zwölf!!) neue Arten (Radiolarien) erbeutete und darunter die allerreizendsten Tierchen! Ein Glücksfang, der mich halb unsinnig vor Freude machte; ich fiel vor meinem Mikroskop auf die Knie und jubelte dem blauen Meere und den gütigen Meeresgöttern, den zarten Nereiden, die mir immer so herrlich Geschenke schicken, innigsten Dank zu, versprach auch, recht gut und brav zu sein und, dieses Glückes würdig, all mein Leben dem Dienst der herrlichen Natur, der Wahrheit und Freiheit zu widmen. Dieser eine überaus glückliche Fang gab mir bisher vollauf zu tun, und ich bin mit Beschreibung und Zeichnung der herrlichen Wesen noch lange nicht fertig. Gestern früh fuhr ich auch wieder aus, um mir mein Geburtstagsgeschenk zu holen; doch schienen der alte Neptun sowohl als die aufmerksamen Nereiden, die dem rüs-

Abb. 1: Titelbild des Buches (links) mit den Briefen, die Ernst Haeckel in den Jahren 1859/60 Anna Sethe (Mitte) geschrieben hat. Die Meduse der Gattung *Desmonema* mit dem Artnamen *Annasethe* (rechts) ist von Haeckel nach ihr benannt worden (Abbildungen mit freundlicher Genehmigung des Haeckel Hauses in Jena).

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

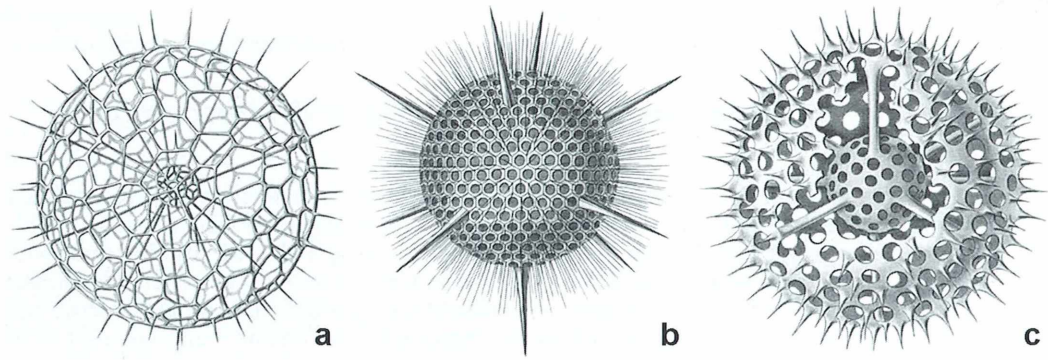


Abb. 2: Radiolarien-Arten der Gattung *Haliomma*. a *H. capillaceum*; b *H. echinaster*; c *H. castanea* (aus Haeckel, 1826).

tigen deutschen Jungen offenbar sehr gut sind, seinen Geburtstag gänzlich zu ignorieren; denn ich untersuchte den ganzen Tag viele hundert Wassertropfen ganz vergebens. Mißmutig wollte ich endlich am Abend die Mikroskope einsperren und dachte: „Ein schlechter Schluß des reichen Lebensjahres! Nun aber noch ein Tropfen versucht!" Und was sah ich! Kaum traute ich meinen Augen, ein so überaus herrliches Haliomma (Abb. 2) schwamm zwischen andern unnützen Infusorien herum, eine neue Art, schöner als alle andern! „Und nun noch einen letzten Tropfen!" Da mußte ich vor Freude aufjubeln und in die Höhe springen: denn zwei neue, prächtige Arten, dazu das eine sogar eine neue Gattung, erfreuten den überraschten Blick. Das war denn doch noch ein Geburtstagsgeschenk. Und was für eins!! Damit sind nun 75! neue Radiolarienarten entdeckt und ich hoffe fest, wenn ich nur noch ein paarmal solch Glück habe, binnen kurzem die 100 voll zu machen. Ach Schätzchen, könnt´ ich Dich nur einmal die Seligkeit mitempfinden lassen, die mich bei solchen prächtigen Freuden im Momente der Entdeckung beseelt, dieser laute, helle Jubel des beglückten Naturforscherherzens, der sich kaum mit etwas anderem vergleichen läßt. Ich kenne nur eine einzige, überselige Empfindung, die noch darüber geht, und das ist der Fund, den ich am 3. Mai 1858 gemacht habe und der denn doch dies alles aufwiegt!! Kennst Du den auch?

... (Uschmann, 1984).

Innige Liebe ...

Mit diesem letztgenannten Fund ist die Verlobung von Anna und Ernst gemeint. Das Schicksal hat es mit diesen beiden allerdings nicht gut gemeint. Die von Haeckel offenbar innig geliebte Cousine Anna Sethe, die er 1862 ehelichte, nachdem er im gleichen Jahr zum Extraordinarius an der Medizinischen Fakultät für Vergleichende Anatomie in Jena ernannt wurde, verstarb knapp zwei Jahre später nach einem kurzen Krankenlager ganz unerwartet und plötzlich.

Wie es scheint, hat sich Haeckel von diesem Schicksalsschlag nie richtig erholen können. Er heiratete zwar 1867 die Professorentochter Agnes Huschke und hatte mit dieser drei gemeinsame Kinder, nämlich den Sohn Walter und die beiden Töchter Elisabeth und Emma. Aber, wenn man den verfügbaren Quellen glauben darf, war diese Verbindung nach einer gewissen Zeit – möglicherweise bedingt durch Haeckels ausgeprägte Reistätigkeit – nicht mehr so fest und herzlich, wie sie begann.

... über den Tod hinaus

Anne Sethe jedoch war selbst Jahrzehnte nach ihrem Tod für Ernst Haeckel immer noch präsent. Das ist unter anderem dadurch dokumentiert, dass er zwei der schönsten und filigransten Medusen, die er in seinem weiteren Forscherleben entdeckt hat, mit folgenden Erklärungen nach ihr benannt hat.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Mitrocoma Annae

... Ich benenne diese Art, die Fürstin unter den Eucopiden, zum Andenken an meine unvergessliche theure Frau, Anna Sethe. Wenn es mir vergönnt war, während meiner tellurischen Pilgerfahrt Einiges für die Naturwissenschaft und der Menschheit zu leisten, so verdanke ich es zum grossen Theile dem veredelnden Einflusse dieser hochbegabten Frau, die mir 1864 durch einen jähen Tod entrissen wurde. ... (Haeckel, 1879).

Desmonema Annasethe

... Der Speziesname dieser prachtvollen Discomeduse – einer der schönsten und interessantesten unter allen Medusen – verewigt die Erinnerung an Anna Sethe, die hochbegabte feinsinnige Frau (geb. 1835, gest. 1864), welcher der Verfasser dieses Tafelwerkes die glücklichsten Jahre seines Lebens verdankt. ... (Haeckel, 1899–1904).

Literaturhinweise

Haeckel, E.: Die Radiolarien (Rhizopoda, Radiaria). Eine Monographie. Verlag von Georg Reimer, Berlin 1862.
Haeckel, E.: Das System der Medusen. Erster Theil einer Monographie der Medusen. Verlag von Gustav Fischer, Jena 1879.
Haeckel, E.: Kunstformen der Natur. Verlag des Bibliographischen Instituts, Leipzig und Wien 1899–1904.
Uschmann, G.: Ernst Haeckel – Biographie in Briefen. Prisma Verlag, Gütersloh 1984.
www.biolib.de

Redaktion MIKROKOSMOS

Nachricht

Berliner Mikroskopische Gesellschaft in der Öffentlichkeit aktiv – Mikroskopieren im Botanischen Garten

Abb. 1: Präsentationszelt der BMG im Botanischen Garten Berlin-Dahlem (Fotos: Günther Zahrt, Berlin).

Der Botanische Garten in Berlin-Dahlem feiert in diesem Jahr sein 100-jähriges Bestehen. Aus diesem Anlass finden den ganzen Sommer über viele Veranstaltungen an dem beliebten Ausflugsziel statt. So konnte sich in diesem Rahmen auch die BMG dem Publikum vorstellen. Von der Gartenverwaltung war

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

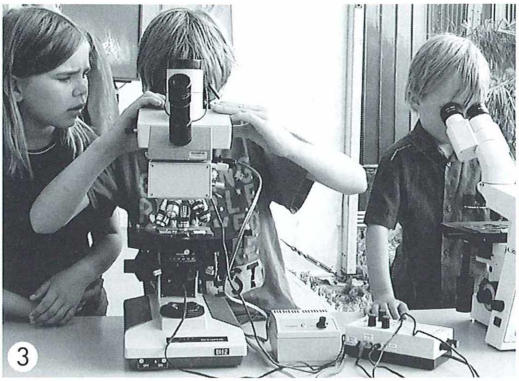


Abb. 2: Klaus Hausmann, 1. Vorsitzender der BMG und Herausgeber des MIKROKOSMOS, erklärt das Videomikroskop. – Abb. 3: Interessierte Kinder beim Mikroskopieren.

eine mit einem Zelt überdachte Bühne und die davor liegende Rasenfläche zur Verfügung gestellt worden, wo während des Sommers des Öfteren Freiluft-Konzerte gegeben werden (Abb. 1). Der Schwerpunkt des Programms, das die BMG für diesen Anlass ausgearbeitet hatte, lag natürlich auf der Botanik. Jedoch sollte auch die Mikrofauna der Gewässer nicht zu kurz kommen.

Bei strahlendem Sonnenschein begannen die Mitglieder der BMG am frühen Morgen des 6. Juni 2004 mit dem Aufbau ihres Präsentationsbereiches. Der Besucher wurde beim Betreten des Zeltes an einem Informationsstand empfangen, wo ein Werbeblatt, das Jahresprogramm der Gesellschaft sowie eine größere Anzahl diesjähriger Hefte des MIKROKOSMOS zum Mitnehmen auslagen. Hier wurden dem interessierten Gast allgemeine Informationen gegeben und erläutert, was an den verschiedenen Ständen zu sehen und zu erfahren war.

Unter zwei Stereolupen konnten Kleinstlebewesen, Algen und Wasserpflanzen beobachtet werden, was vor allem die kleinen Besucher anzog. Als eines der Kinder im Leib der durchsichtigen Wasserflöhe Junge erkannte, war die Begeisterung groß. An einem inversen Videomikroskop und einer Videolupe wurde das Publikum am Monitor durch die Welt der einzelligen Lebewesen geführt (Abb. 2). Weitere BMG-Mitglieder zeigten verschiedenste botanische Schnitte, und ein Mikroskop mit selbst gebauter Stereo-Zusatzeinrichtung sorgte für Staunen. Auf einer Leinwand wurden Mikrofotografien und Filmsequenzen oder wahlweise das aktuelle Geschehen unter den Videomikroskopen gezeigt. Auf der Rasenfläche vor der Bühne war ein Gartenpavillon aufgestellt worden, wo die Besucher die Möglichkeit hatten, selbst einfache botanische Präparate herzustellen und unter dem Mikroskop zu betrachten. Präparate von verschiedenen Pollen und Sternhaaren, Lackabdrücke von Blättern und Färbungen von Paraffinschnitten standen auf dem Aktivprogramm. Außerdem wurden ausgesuchte Objekte zu Frischpräparaten verarbeitet. Selbst die 12-jährigen Nachwuchs-Mikroskopierfreunde der Gesellschaft nahmen aktiv an der Veranstaltung teil und animierten vor allem die Kinder zum Nähertreten und Mitmachen (Abb. 3).

Bei der Vielfältigkeit des Angebotes verwundert es nicht, dass die BMG'ler vor lauter interessierten Fragen kaum dazu kamen, dem Kuchen zuzusprechen, der von freundlichen Familienangehörigen angeliefert worden war. So verging dieser schöne Sommertag wie im Flug und den erschöpften, aber zufriedenen BMG'lern blieb nur noch der Rücktransport der Gerätschaften, die zum größten Teil von der FU Berlin zur Verfügung gestellt und durch Privatgeräte der Mitglieder ergänzt worden waren.

Über den regen Zuspruch der Besucher kann sich die BMG freuen und hofft, mit der Aktion „Botanischer Garten" den einen oder anderen für das Mikroskop als Hobby begeistert zu haben.

Martina Zahrt, Berlin

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Trichodina auf Eudiaptomus – „Ein Hüpferling mit Läusen"

Josef Brief

Der Ciliat *Trichodina*, über dessen zunächst ungewöhnlich scheinende Wirtswahl ich hier kurz berichten möchte, ist neben protistologisch interessierten Mikroskopikern als Polypenlaus, insbesondere auch Aquarianern und Fischzüchtern als fakultativ pathogener Fischparasit ein Begriff. Die hier beschriebene Art fand ich jedoch nicht, wie für die bekannteren *Trichodina pediculus* üblich, auf Süßwasserpolypen oder Fischen, sondern auf dem Ruderfußkrebs *Eudiaptomus*.

In der Systematik der Protisten werden die Trichodinen unter die Alveolata – Ciliophora – Intramacronucleata – Oligohymenophorea – Peritrichia – Mobilida eingeordnet (Hausmann et al., 2003). Diese, im Gegensatz zu den Sessilida, mobilen Vertreter der Peritrichia sind in aller Regel an einen Wirt gebunden und werden eher selten freischwimmend, auf Wirtsuche beobachtet. Neben dem Polypen *Hydra*, auf dem sie häufig angetroffen werden, lebt *Trichodina pediculus* auch auf Fischen, Kaulquappen und Moostierchen (Hausmann et al., 2003). Für die Art *Trichodina domerguei megamicronucleata* hingegen wird das nahezu ausschließliche Vorkommen auf Ruderfußkrebsen beschrieben (Foissner et al., 1999).

Im Zusammenleben des Ciliaten mit seinem Wirt gibt es Übergänge zwischen einem für den Wirt unschädlichen Symphorismus und insbesondere bei Fischen gelegentlichem Parasitismus (Röttger, 2001).

Trichodinen sind flach-zylindrisch bis scheibenförmig und haben sowohl einen basalen, aboralen Cilienring, welcher der Fortbewegung dient, als auch einen apikalen, adoralen Cilienkranz, über den Nahrung herangestrudelt wird. Der basale Cilienring steht mit einem intrazellulären Haftapparat in Verbindung. Dieses charakteristische, kreisförmige Haftorganell besteht aus mehreren hundert, komplex radiär angeordneten Proteinelementen und ermöglicht ein Anheften an die Epitheloberfläche des Wirtes. Dabei kann es zu Epithelverletzungen und Ulzerationen mit Sekundärinfektionen kommen, der den Aquarianern und Fischzüchtern bekannten Trichodiniose von Fischen (Hausmann et al., 2003).

Neben der äußeren Form des Ciliaten und der Lokalisation und Morphologie des Mikronukleus dienen vor allem auch Struktur und Aufbau des Haftapparates als Merkmal einer genaueren Artbestimmung (Foissner et al., 1999; Haider, 1964).

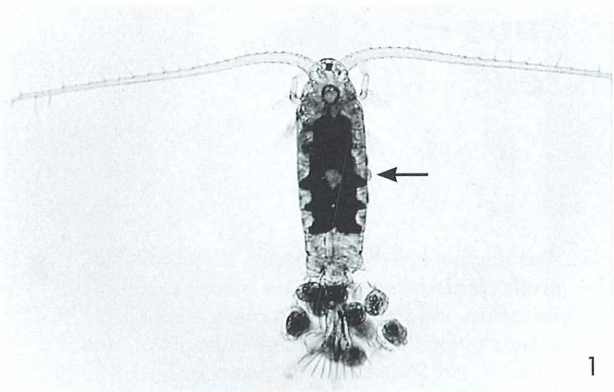
Fundort und Wirtsidentifikation

In einer Anfang April aus einem nahe Frankfurt am Main gelegenen Waldtümpel entnommenen Wasserprobe beobachtete ich mehrere, auffälligerweise freischwimmende Exemplare dieses Ciliaten. Trichodinen haben ohne Wirt jedoch nur eine zeitlich begrenzte Überlebensdauer. Da ich in der Wasserprobe keine *Hydra* sehen konnte, machte ich mich auf die Suche nach einem möglichen alternativen Wirt und nahm die verschiedenen in dem Probengefäß schwimmenden Crustaceen genauer unter die Lupe. Bei der Ruderfußkrebsart *Eudiaptomus vulgaris* wurde ich schließlich fündig. Die Identifikation als *E. vulgaris* (Streble und Krauter, 2002) ist durch die Körperform, die langen, 25-gliedrigen Antennen und die typischen Spitzen des letzten Thorakalsegmentes einfach möglich (Abb. 1 und 2).

Wirtswahl und Ciliatenform

Von den verschiedenen in der Probe gefundenen Crustaceen hielten sich die Trichodinen

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/



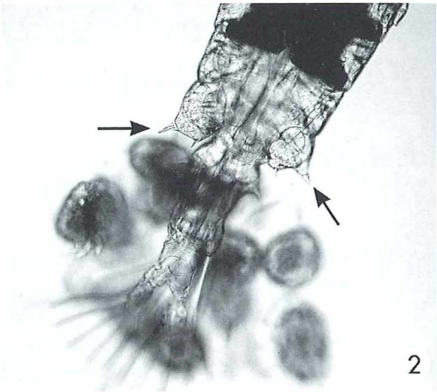
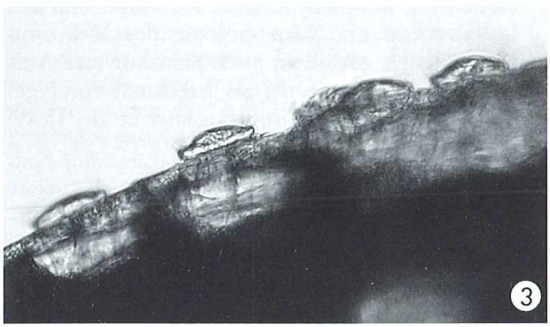
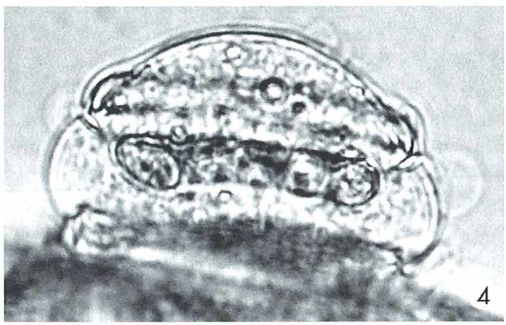
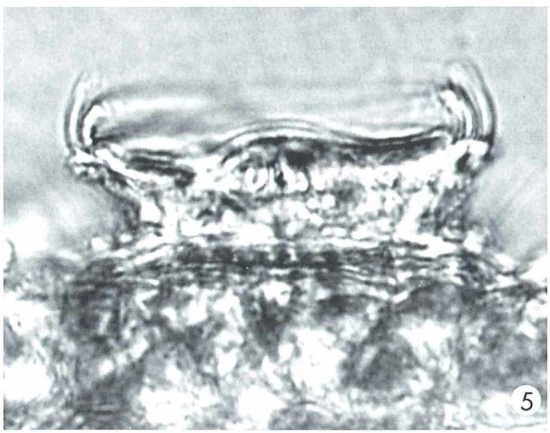


Abb. 1 und 2: Der Wirt *Eudiaptomus vulgaris*. – Abb. 1: 25-gliedrige Antennen sowie eine *Trichodina*, rechts mittig dem Thorax aufsitzend erkennbar (Pfeil). Vergr. 30fach. – Abb. 2: Das letzte Thorakalsegment mit den für die Art typischen Spitzen (Pfeile). Die dunklen Strukturen am Schwanz sind Aufwuchsorganismen. Vergr. 80fach.







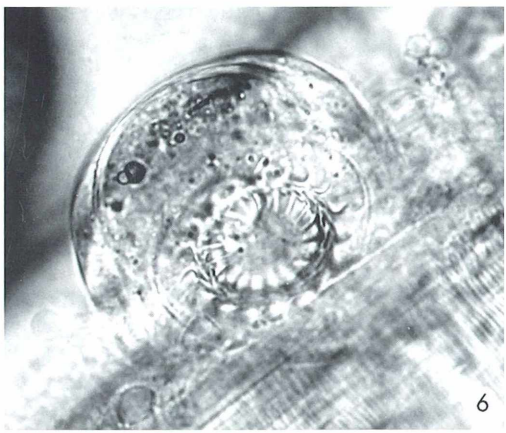
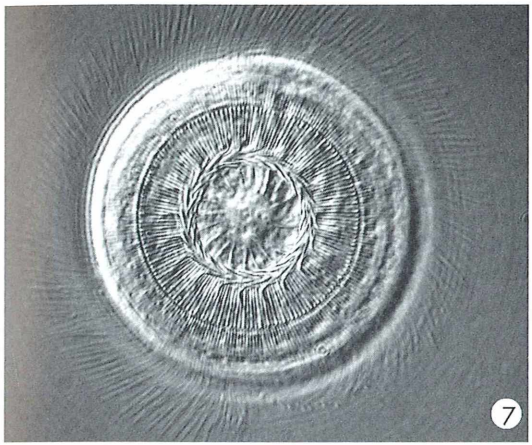


Abb. 3: Gruppe von fünf Trichodinen auf der Wirtsoberfläche. Vergr. 200fach. – Abb. 4: *Trichodina domerguei megamicronucleata*. Typische Lateralansicht auf dem Wirt mit gut erkennbarem Makronukleus inmitten des Körpers. Vergr. 1000fach. – Abb. 5: *Trichodina pediculus* auf *Hydra*. Vergleich der Lateralansicht zu Abbildung 4. Vergr. 1000fach. – Abb. 6: *Trichodina domerguei megamicronucleata*. Aufnahme von schräg unten, durch den Wirt hindurch. Gut erkennbar dem Wirt aufliegende Haftscheibe. Vergr. 900fach.



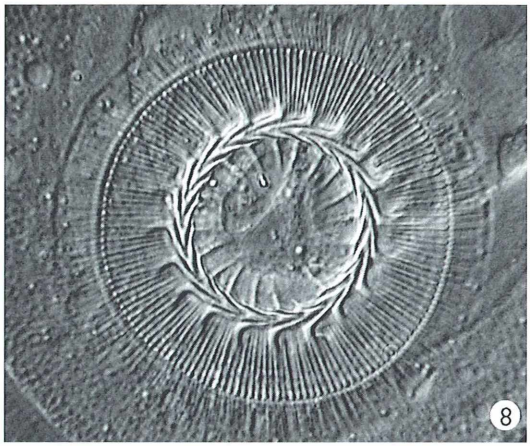


Abb. 7 und 8: Haftapparat von *Trichodina domerguei megamicronucleata* im modifiziertem Phasenkontrast. – Abb. 7: Basalansicht des ganzen Ciliaten. – Abb. 8: Detailaufnahme des Haftorganells bei leicht gequetschtem Tier. 20 Häkchen und 158 peripher dazu gelegene radiale Pins erkennbar. Ebenfalls sichtbar ist der sichelförmige, über den Haftapparat projizierte Makronukleus. Abb. 7 Vergr. 900fach, Abb. 8 Vergr. 1600fach.

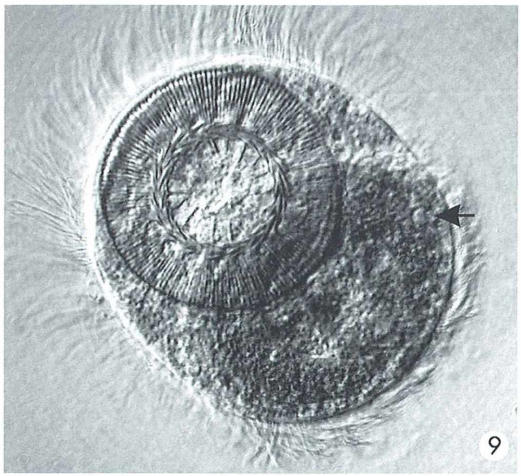


Abb. 9: *T. domerguei megamicronucleata*. Färbung mit Methylgrün. Organismus in schräger Gesamtansicht, um eine Überlagerung von Zellkern und Haftscheibe zu vermeiden. Es zeigt sich der dem Makronukleus in – für diese Art – typischer Weise außen angelagerte Mikronukleus (Pfeil). Modifizierter Phasenkontrast, Vergr. 900fach.

ausschließlich auf erwachsenen Tieren des Copepoden *Eudiaptomus* auf. Bei der dreidimensionalen Beobachtung freischwimmender Wirte unter einem Stereomikroskop mit 40facher Vergrößerung konnte man die bevorzugte Lokalisation der Trichodinen dorsal (auf dem Krebsrücken) erkennen, seltener lateral an den thorakalen Flanken oder im Bereich des Kopfes, nie ventral auf der Bauchseite. Ich konnte bis zu 12 Exemplare pro Wirt zählen, oftmals in Grüppchen angeordnet (Abb. 3). Die Vermessung von zehn Tieren ergab Durchmesser von 42 bis 52 µm. Die seitliche Ansicht der Ciliaten (Abb. 4) zeigte ein von der gewohnten Silhouette einer *Trichodina pediculus* abweichendes Aussehen. Die äquatoriale Einschnürung fehlte, stattdessen waren die Exemplare deutlich rundlicher (Abb. 4 und 5). Der Makronukleus war wie üblich wurstförmig, inmitten des Körpers (Abb. 4). An dem ebenfalls bei etwas höherer Vergrößerung von schräg unten durch den Wirt hindurch gezeigten Exemplar (Abb. 6) sieht man deutlich die der Wirtsoberfläche aufliegende Haftscheibe. Erst nach längerer Beobachtung eines unter dem Deckglas festgelegten *Eudiaptomus* verlassen die Ciliaten nach und nach ihren Wirt.

Artbestimmung

Die Artbestimmung erfordert ein genaueres Studium der Strukturen des Haftorganes und bei der vorliegenden Art möglichst auch des Mikronukleus. Hierzu muss zunächst ohne

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Deckglas, unter Beobachtung des Wirtes bei schwacher Vergrößerung, abgewartet werden bis sich einzelne Trichodinen lösen und frei schwimmen. Nach Entfernung des Wirtes vom Objektträger lassen sich dann die Ciliaten unter dem Deckglas vorsichtig festlegen und mit hoher Vergrößerung untersuchen.
Der Hakenkranz des Haftapparats einer Polypenlaus würde dabei typischerweise rund 30 (24 bis 36) Häkchen aufweisen, der Mikronukleus würde der Innenseite des wurstförmigen, gekrümmten Makronukleus anliegen (Foissner et al., 1999).
Bei den hier untersuchten Exemplaren zählte ich jedoch durchweg 20 Häkchen (Abb. 7 und 8) und der Mikronukleus war der Außenfläche des Makronukleus angelagert (Abb. 9). Beides wird so für eine von *Trichodina pediculus* zu unterscheidende Art beschrieben. Bei *Trichodina domerguei megamicronucleata* ist der Hakenkranz normalerweise aus 19 bis 22 Häkchen aufgebaut, der deutliche Mikronukleus befindet sich an der Außenseite des halbkreisförmigen Makronukleus.

Resümee

Die runde, nicht eingeschnürte Köperform, ein *Eudiaptomus* als gewählter Wirt, die Struktur des Haftapparates sowie die Lokalisation des Mikronukleus passen gut zusammen und lassen den hier gezeigten, ursprünglich für die Polypenlaus *T. pediculus* gehaltenen Ciliaten als die verwandte Art *T. domerguei megamicronucleata* erkennen. Die Laus auf dem Hüpferling, die für mich anfangs eine Überraschung war, stellt sich natürlich als lange bekannter Symphorismus heraus. Doch der Weg ist das Ziel und so war es auch in diesem Fall, mit ausführlicherem Studium der Literatur und etwas genauerem Beobachten, ein für den Amateur reizvolles Detektivspiel.

Literaturhinweise

Foissner, W., Berger, H., Schaumburg, J.: Identification and ecology of limnetic plankton ciliates. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München 1999.
Haider, G.: Monographie der Familie Urceolariidae (Ciliata, Peritricha, Mobilida) mit besonderer Berücksichtigung der im süddeutschen Raum vorkommenden Arten. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1964.
Hausmann, K., Hülsmann, N., Radek, R.: Protistology, 3rd ed. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 2003.
Röttger, R.: Wörterbuch der Protozoologie. In: Foissner, W. (ed.): Protozoological Monographs, Vol. 2. Shaker Verlag, Aachen 2001.
Streble, H., Krauter, D.: Das Leben im Wassertropfen, 9. Auflage. Franckh-Kosmos Verlags-GmbH, Stuttgart 2002.

Verfasser: Dr. Dr. Josef Brief, Tituscorso 2–4, D-60439 Frankfurt am Main,
e-mail: drdrbrief@yahoo.com

Buchbesprechung

Rosenbauer, K. A.: Mikroskopische Präparate – Hersteller und Lieferanten – Eine Zusammenstellung aus zwei Jahrhunderten – Band 1: Deutschland – Niederlande – Belgien – Österreich – Schweiz – Spanien – Tschechoslowakei – Dänemark.
GIT Verlag, Darmstadt 2003, 180 Seiten, zahlreiche Farbabbildungen, gebunden, € 58,00, ISBN 3-928865-36-6.

Dieses Buch ist sicherlich eine Publikation, die sich primär an eine ganz spezielle Leserschaft, nämlich an die Sammler mikroskopischer Präparate wendet. Diese Klientel dürfte hoch erfreut sein, dass es nun ein solches Buch gibt, das weit mehr ist als nur ein Lieferantenverzeichnis entsprechender Produkte. Durch die zahlreichen, liebevoll zusammengestellten, qualitativ hochstehenden Abbildungen antiquarischer wie aktueller Präparate gewinnt das Buch ungemein. Ich kenne viele Sammler speziell historischer Präparate, die mehr als froh sein werden, wenn sie auf diesem Wege eine Möglichkeit eröffnet bekommen, ihre Kostbarkeiten ein- und zuzuordnen.

Es wäre natürlich sehr schön gewesen, bereits jetzt schon zu erfahren, welche Herstellerländer im zweiten Teil dieser Publikation – den man ja erwartet, wenn ein erster Teil auf dem Markt erscheint – berücksichtigt werden. Mir persönlich wären beispielsweise Informationen über England wichtig, wo es ja von jeher hinsichtlich der Präparateherstellung sehr viele Aktivitäten gab. Man darf darauf gespannt sein, welche Fakten der hoffentlich bald erscheinende Band 2 vermitteln wird.

Klaus Hausmann, Berlin

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Sherlock Holmes – Ein unsterblicher Mikroskopiker?

Norbert Gregor Günkel

Bekannt ist er als Mann mit der Lupe, der berühmteste Detektiv der Welt: Sherlock Holmes, dessen fiktiver Geburtstag sich 2004 zum 150. Mal jährt. Aber die Romanfigur aus der Feder von Sir Arthur Conan Doyle hat auch das Mikroskop benutzt – und damit die Kriminalistik entscheidend beeinflusst? Der Streit dauert an.

Der Romanheld Sherlock Holmes hat sich längst verselbstständigt. Eine Fan-Gemeinde behandelt die Geschichten so, als habe Holmes tatsächlich gelebt, viele Aspekte seines (literarischen) Lebens sind erforscht worden. Daher ist es auch möglich, sein Geburtsdatum anzugeben: Die Holmes-Forscher haben sich auf den 6. Januar 1854 verständigt. Ausgebildet wurde der spätere Privatdetektiv in Oxford und Cambridge, unter anderem von Prof. Moriarty, der später sein Erzfeind werden sollte. 1881 fand die schicksalhafte Begegnung zwischen Holmes und Dr. John Watson statt, der gerade verwundet aus dem Krieg in Afghanistan zurückgekehrt war und nach einer Bleibe suchte. Sie fanden ihr Zuhause in der Baker Street 221b unter der mütterlichen Fürsorge von Mrs. Hudson. Von nun an begleitete der Arzt den Detektiv durch seine vielen Abenteuer, welche die Holmes-Forscher in mühevoller Arbeit zeitlich sortiert und eingeordnet haben. Freilich differieren die Ergebnisse der einzelnen Studien teilweise um etliche Jahre. In vier Romanen und 56 Kurzgeschichten hat Sir Arthur Conan Doyle aufgeschrieben, was Sherlock Holmes und Dr. Watson erlebten – zur ungebrochenen Freude ungezählter Fans in der ganzen Welt.

Biographie von Sherlock Holmes

1887 erschien der erste Roman *Eine Studie in Scharlachrot*, der die beiden Charaktere einführte. Bereits vier Jahre später konnte Doyle seinen Beruf als Arzt aufgeben und sich auf das Schreiben konzentrieren. Vier Jahrzehnte lang veröffentliche er eine Geschichte nach der anderen, nachdem sein Versuch, Holmes in den Reichenbach-Wasserfällen sterben zu lassen, vom Publikum einfach nicht angenommen worden war. 1903 zog sich Holmes aus seiner Tätigkeit zurück, brach aber 1912 nach Amerika auf, um dort irischen Geheimgesellschaften auf die Spur zu kommen. 1914 löste er in England seinen letzten Fall. Und dann? Der Bienenzucht hat er sich in Sussex gewidmet, ein paar eigene Fälle beschrieben, privatisiert eben. So detailreich das vermeintliche Leben des Sherlock Holmes auch erforscht worden ist – auf ein Todesdatum haben sich seine Biografen nicht einigen können. Die einschlägigen Seiten im Internet vermitteln auch nicht den Eindruck, dass sie sich jemals ernsthaft darum bemüht hätten.

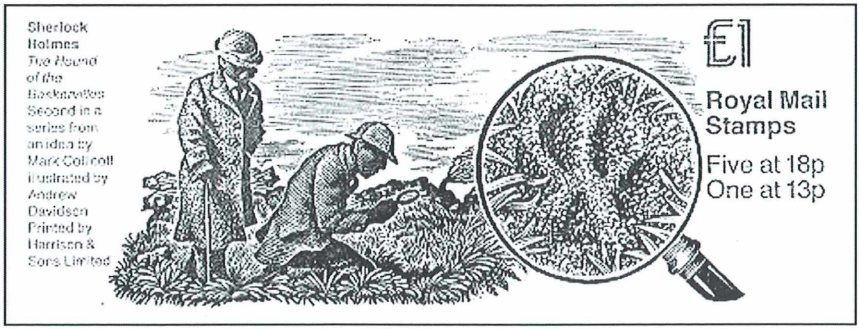
Seinen Verehrern gilt Holmes geradezu als der Mann, der die moderne Kriminaltechnik erfunden hat. Das ist ein eher merkwürdiges Zeugnis für einen Kriminologen, der von Fingerabdrücken nicht viel hielt (*habe davon gehört*) und auch sonst keineswegs immer auf dem Stand der Untersuchungstechniken war, die zu seiner Zeit längst bekannt waren. Holmes steht mehr als Symbol für den Umbruch in der Ermittlungsweise: Weg von der bloßen Befragung von Verdächtigen und Zeugen hin zur empirischen Untersuchung von Opfern und Tatorten (Agostinis, 1999).

Holmes Arbeitsmethoden

Das bevorzugte Arbeitsgerät des Detektivs war die Lupe (Abb. 1 und 2). Aber Holmes hat auch das Mikroskop benutzt. Schon gleich bei seinem ersten Auftritt in der literarischen Welt (*Eine Studie in Scharlachrot*) zitiert Holmes die Möglichkeit einer mikroskopischen Blutunter-

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

①



②

Abb. 1: So kennen wir Sherlock Holmes: Mit der Lupe am Auge und in Begleitung von Dr. Watson auf einer Briefmarke der Comoren (aus: Steve Russells Internet-Seite). – Abb. 2: In der Geschichte *Der Hund von Baskerville* greift Holmes ebenfalls zur Lupe, dargestellt auf einer britischen Briefmarke (aus: Steve Russells Internet-Seite).

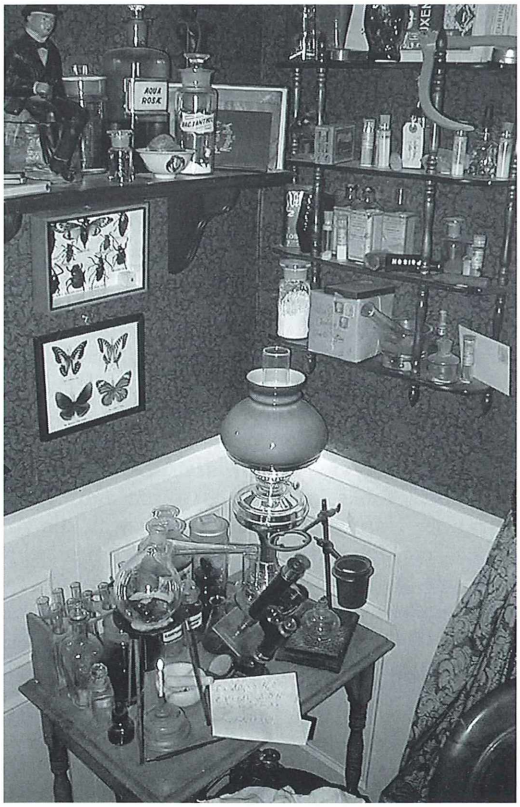


Abb. 3: An einem solchen Tischchen soll Sherlock Holmes die moderne Kriminalistik begründet haben. Das Mikroskop immerhin kann sich für die Zeit ab 1850 sehen lassen (aus: Chuck Kovacics Internet-Seite).

suchung. Die hat er in diesem Fall zwar nicht selbst vorgenommen – aber die Methode ist ihm zweifelsfrei bekannt. Erst in der letzten Geschichte (*Shoscomb Old Place*) benutzt Sherlock Holmes tatsächlich selbst ein Mikroskop (Lüthje, 1999). Er untersucht Textilfasern, an denen er Leimspuren erkennt, womit der Täter identifiziert werden kann. Als Erklärung für diese Tätigkeit hört Dr. Watson, dass Scotland Yard den Privatdetektiv um diese Untersuchung gebeten hat. Seit er nämlich einen Fall durch eine mikroskopische Analyse geklärt hat, *haben sie begonnen, die Bedeutung des Mikroskops zu erkennen*, erläutert Holmes seinem Freund. Details zu diesem ominösen Fall erfahren wir indessen nicht, nur dass er einen Falschmünzer aufgrund der Zink- und Kupferspäne in seinem Manschettenaufschlag überführen konnte. Allerdings geht aus diesen wenigen Zeilen eindeutig hervor, dass das Mikroskop in den zurückliegenden Jahren zum methodischen Standard des Detektivs gehört haben muss, denn nicht nur seine Andeutung, dass er Scotland Yard weit voraus ist, sondern auch seine Beurteilung dessen, was er durch das Instrument sieht, verrät einiges an Erfahrung (Abb. 3). Er erkennt Fasern von einem Tweedmantel, Staub, Hautzellen und Leimklümpchen. Holmes hält es sich also zugute, dass die englische Polizei die Mikroskopie in die Kriminaltechnik aufgenommen hat. Bloß: Dafür gibt es in den fast 60 Geschichten dann doch recht wenig Belege.

Nur in einer Story noch erwähnt Dr. Watson/Doyle ein Mikroskop. Nathan Garri-

Abb. 4: Ein wenig mehr Platz ist an diesem Entwurf eines Labortisches für Sherlock Holmes (aus: Denny Dobrys Internet-Seite).

Abb. 5: Die französische Variante des Salons stellt das Mikroskop auf einen Büchertisch.

deb, einer von den *Drei Garridebs*, verfügt über ein leistungsfähiges Instrument. Die Geschichte erwähnt das Gerät allerdings nur, um die vielfältigen wissenschaftlichen Interessen des Klienten zu illustrieren.

Deutlich weniger Zurückhaltung in Sachen Mikroskopie zeigten die Sherlock-Holmes-Filme mit Basil Rathbone in der Titelrolle aus den dreißiger und vierziger Jahren des 20. Jahrhunderts. In der *Stimme des Terrors* wird ein Messer als Tatwaffe unter einem Binokular untersucht, in der *Verhängnisvollen Reise* ist es ein Mikrofilm von wichtigen Dokumenten, der unters Binokular gelegt wird. Im Streifen *Die Kralle* untersucht Holmes ein Stück Stoff, das angeblich von einem Gespenstergewand stammt. In dem deutlich jüngeren Film *Das Privatleben des Sherlock Holmes* von Billy Wilder aus dem Jahr 1970 analysiert der Detektiv die Asche von Zigarren unter dem Mikroskop, um deren Herkunft herauszufinden. Allerdings findet es Holmes ziemlich *langweilig, durch ein Mikroskop zu schauen*. Gemeinsam ist allen Streifen, dass es ihnen an einer literarischen Grundlage mangelt.

Die dürftigen Hinweise auf die mikroskopische Tätigkeit des berühmtesten Detektivs der Welt haben seine Fans nicht davon abgehalten, seine nachgebauten Wohnräume mit unterschiedlichen Mikroskopen zu bestücken. Im Internet gibt es mehrere Darstellungen des berühmten Wohnzimmers in der Baker Street 221b mit dem Labortisch (Abb. 4). Fast immer findet sich ein mehr oder weniger starkes Mikroskop darauf. Manchmal ist es auch nur ein Büchertisch, an dem kaum wissenschaftliche Arbeit geleistet worden sein kann (Abb. 5).

Kriminalistische Techniken

Arthur Conan Doyle hat also die kriminalistische Technik nicht erfunden oder durch Holmes erfinden lassen. Als Vater der modernen Kriminalistik gilt Hans Gross, der einige Jahre vor dem ersten Holmes-Roman ein *Handbuch für Untersuchungsrichter* niederschrieb – aber wohl erst 1891 publizierte, weshalb der Streit um die Bedeutung von Holmes immer noch ausgefochten wird. Fakt indessen ist, dass Doyle sich der Kritik der Londoner *Times* an den veralteten Untersuchungsmethoden der Polizei anschloss und seinen Detektiv als Mittel nutzte, Scotland Yard den Spiegel vorzuhalten (Agostinis, 1999). Eine Zeitung wie die *Times* hat Argumente für den wissenschaftlichen Fortschritt in der Kriminalistik und für die Kritik an einer britischen Institution wie dem Yard aber ganz sicher nicht Kurzgeschichten über einen Privatdetektiv entnommen. Daraus kann nur geschlossen werden, dass die neuen Methoden im Schwange waren und durch die Holmes-Geschichten einem breiten Publikum nahegebracht worden sind.

Selbstredend ist das Mikroskop in der Kriminalistik unverzichtbar. Das hat Klaus Schreiber schon vor fast 50 Jahren deutlich gemacht (Schreiber, 1956/57). Mehr denn je widmet sich die Aufklärung eines Verbrechens heute den kleinen und kleinsten Spuren, bei denen das

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Lichtmikroskop schon kaum noch ausreicht. Fasern, Rückstände jeder Art, die oft eingesetzte Pollenanalyse, die Begutachtung von Diatomeen, nicht zuletzt der Vergleich von Projektilen – ohne Mikroskop ist das alles undenkbar.

Sherlock Holmes – (k)ein Mikroskopiker

Wenn es Doyle mit seiner Romanfigur wirklich gelungen sein sollte, das durch gerade mal drei Erwähnungen – davon eine mit wissenschaftlicher Substanz – in 60 Geschichten durchzusetzen, dann wäre er einer der einflussreichsten Schriftsteller der Weltgeschichte. Da darf Skepsis angemeldet werden. Was Sherlock Holmes wirklich verkörpert, ist die Verbindung zwischen wissenschaftlichen Methoden und gesundem Menschenverstand. Die Ergebnisse seiner Untersuchungen sind für ihn nur Anlass, über Tat und Täter nachzudenken. Wenn dabei das Unmögliche aussortiert wird, bleibt die Wahrheit übrig – und wenn sie noch so unwahrscheinlich sein mag.

Unter die großen Mikroskopiker müssen wir den fiktiven Privatdetektiv aus der Londoner Baker Street 221b also nicht einordnen. Trotzdem kann man die Geschichten auch heute noch mit viel Vergnügen lesen. Holmes ist mangels Todesdatum nicht nur unsterblich – er ist auch jung geblieben.

Literaturhinweise

Agostinis, S.: Sherlock Holmes and the birth of criminal science. Preliminary Considerations. Internet-Papier 1999. http://soalinux.comune.firenze.it/holmes/inglese/ing_agostinis.htm.

Doyle, A. C.: Eine Studie in Scharlachrot. München 1988, Original von 1887.

Doyle, A. C.: Die drei Garridebs. Remseck 1987, Original von 1926.

Doyle, A. C.: Shoscomb Old Place. Remseck 1987, Original von 1927.

Lüthe, E.: Das Mikroskop von der Baker Street. Mikrokosmos *88*, 148 (1999).

Schreiber, K.: Das Mikroskop und seine Verwendung in der Kriminaltechnik. Mikrokosmos *46*, 106–111 (1956/57).

Internet:

www.sherlockian.net (Die Anlaufstelle schlechthin)

www.sherlock-holmes.co.uk (Ebenfalls sehr ausführlich)

http://mysite.verizone.net/vze8fmw3/ (Die Seite von Denny Dobry)

www.221bbakerstreetla.com (Die Seite von Chuck Kovacic)

www.trussel.com/detfic/detect.htm (Seite von Steve Trussel)

http://web.wanadoo.be/mrs.hudson/accueil_2x.html (eine französische Variante des Holmes-Salons)

Verfasser: Norbert Gregor Günkel, Rudloser Straße 59, D-36367 Wartenberg, e-mail: nguenkel@aol.com

Buchbesprechung

Müller, A., Quadbeck-Seeger, H.-J., Diemann, E.: Facetten einer Wissenschaft. Chemie aus ungewöhnlichen Perspektiven. Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2004, 333 Seiten, zahlreiche Farb- und Schwarzweißabbildungen, € 29,90, ISBN 3-527-31057-6.

Dass dieses Chemiebuch kein Grundlagenwerk ist mit dem Ziel, einen Gesamtüberblick über die wichtigsten Basisfakten zu schaffen, lässt sich unschwer am Titel erkennen. Gerade die Heterogenität soll in den Vordergrund gestellt werden. Fachübergreifende Aspekte der Chemie, die hineinreichen in die Physik, Mathematik, biochemisch-medizinische Themen und sogar die Poesie zeigen die Vielfalt chemischer Fachrichtungen auf. Auch komplexe Sachverhalte werden verständlich geschildert, so dass die *Facetten* sowohl für Studenten und Lehrer als auch für Schüler der Oberstufe eine geeignete Lektüre darstellen. Der Tüftler freut sich insbesondere über das Kapitel *Eine weihnachtliche Experimentalvorlesung*, wo Experimente zum Schaffen von Leuchterscheinungen vorgestellt werden. Biologisch-medizinisch Interessierte finden beispielsweise in den Kapiteln zur menschlichen Seele und dem Gehirn, zu defekten Genen (Erbkrankheiten), Formen und Musterbildung, Rechts-Links-Phänomenen und dem Einfluss von Zink auf die Lebensvorgänge spannende Beiträge. Die Titel der Kapitel lassen nicht immer erkennen, welche speziellen Aspekte hier Eingang finden.

Renate Radek, Berlin

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Beobachtungen an terrestrischen Algenbiofilmen mit dem Hell- und Dunkelfeld-Auflichtmikroskop

Joachim Jahnke

Das Auflichtmikroskop ist ein Arbeitsgerät der Metallurgen und Geologen, vor allem aber unverzichtbar bei der Qualitätskontrolle in der Halbleiterindustrie. Feinste Oberflächenstrukturen reflektierender, undurchsichtiger, oft plan geschliffener und polierter Werk- und Naturstoffe lassen sich bei hoher Vergrößerung und Auflösung darstellen. Der Einsatz des Auflichtmikroskops in der Biologie ist sicherlich, abgesehen von der Epifluoreszenzmikroskopie, nur begrenzt möglich. Doch gibt es auch hier Oberflächenstrukturen, wie die im Folgenden dargestellten Biofilmbildungen auf Bodenoberflächen und der Witterung ausgesetzten Materialien, die ohne verändernde Präparation einer Analyse mit dem Hell- und Dunkelfeld-Auflichtmikroskop zugänglich sind.

Terrestrische, von aerophytischen Algen dominierte Biofilme siedeln früher oder später auf den meisten, wenigstens zeitweise genügender Feuchtigkeit durch Tau oder Regen und Licht ausgesetzten Flächen wie Böden, Stein, Pflanzenoberflächen, Holz, Fassaden, Glas und Kunststoffe. Als Aufwuchsgemeinschaft von Böden, Gestein, Dächern und Baumstämmen sind sie schon mehrfach im MIKROKOSMOS vorgestellt worden (Hoc, 1987; von der Dunk, 1988; Fischer, 1993; Kremer, 1997, 1998). Vor allem in den Formenkreisen der Blaualgen (Cyanobacteria), Gelb-Grünalgen (Xanthophyceae) und Kieselalgen (Bacillariophyceae) sowie der Grünalgen (Chlorophyta) sind zahlreiche Arten vertreten, die an wechselfeuchte Umgebungen angepasst sind (Ettl und Gärtner, 1995). Vor 22 Jahren erschien im MIKROKOSMOS ein kurzer Artikel zur Auflichtmikroskopie opaker, das heißt undurchsichtiger, mit der Durchlichtmikroskopie nicht darstellbarer biologischer Objekte am Beispiel der Oberflächenstrukturen der Insektenkutikula (Hausmann, 1982). Die Überlegenheit der rasterelektronenmikroskopischen Abbildung, allerdings zwangsläufig toter Objekte, wurde hier deutlich. Sollen jedoch auch über längere Zeit und bei hohen Vergrößerungen lebende Zellen, Zellverbände und deren Entwicklung und durch sie gebildete Oberflächenstrukturen auf opaken Materialien und, wie in unserem Fall zum Beispiel auf Bodenmatrices, ohne schädigende oder lageverändernde, präparative Eingriffe untersucht werden, kann das Hell- und Dunkelfeld-Auflichtmikroskop genutzt werden.

Ausrüstung

Viele Durchlichtmikroskope namhafter Hersteller lassen sich mit so genannten Opakilluminatoren und den dafür vorgesehenen Objektiven zum Hellfeld- und/oder Dunkelfeld-Auflichtmikroskop ausbauen. Je nach Hersteller sind die Auflichtobjektive für endliche oder meist unendliche Bildweite korrigiert. Für unsere Zwecke ist sehr günstig, dass die Trocken-Auflichtobjektive mit hoher Eigenvergrößerung (50- bis 100fach) für die Benutzung ohne Deckglas gerechnet sind. Das Auflegen eines Deckglases würde empfindliche Oberflächen oder Zellaggregate verändern oder zerstören. Algenzellen sind eher hyaline Objekte. Lediglich ihre Chloroplasten absorbieren Licht in höherem Maße. Doch reflektieren Zellwände und Gallertoberflächen genügend Licht an der Grenzfläche zur Luft, so dass eine Oberflächenabbildung möglich ist. Durch mehr oder minder diffus reflektiertes Licht, vor allem auch, wenn ein Wasserfilm des feuchten Bodensubstrates vorhanden ist, kann es zu einer manchmal störenden Aufhellung und Verschleierung des Bildes kommen. Sehr nützlich ist es dann im Falle der Auflicht-Hellfeldbeobachtung zur Kontrastveränderung Polarisationsfilter zum einen als Polarisator drehbar im Beleuchtungsstrahlengang zwischen Leuchte und Illuminator und zum anderen fest zwischen Objektiv und Okular als Analysator einzubauen. Enthält die Auflichteinrichtung neben dem üblichen Planglas ein stattdessen ein einschiebbares Berekprisma, kann ebenfalls die Verschleierung vermindert

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

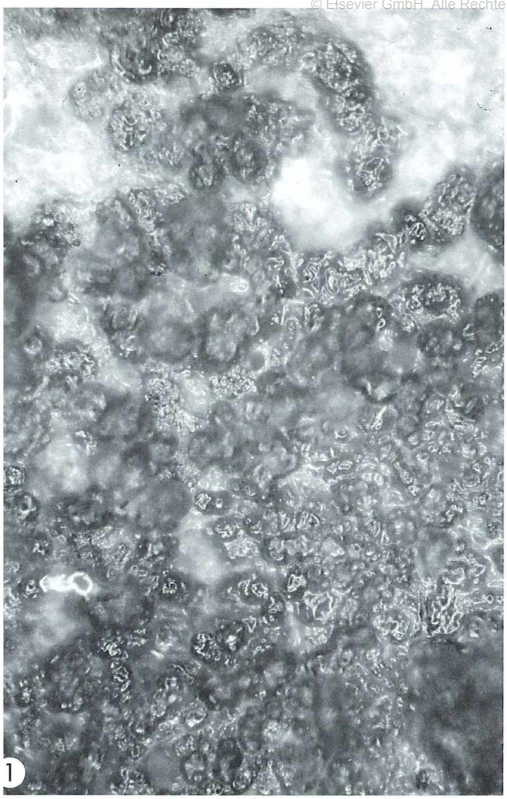
und somit der Kontrast erhöht werden. Auch in diesem Fall sind Polfilter je nach Objekt noch zusätzlich kontraststeigernd. Dreht man die Polfilter in Kreuzstellung, wird das reflektierte Licht nahezu völlig ausgeschaltet. Ist der Biofilm noch dünn oder werden einzelne Zellen oder Aggregate mikroskopiert, gelangt Licht bis zur Substratoberfläche und wird von den meist überwiegend hell reflektierenden und die Polarisationsrichtung beeinflussenden Bodenpartikeln oder dem künstlichen Substrat wieder zurückgestrahlt. Dieses Licht bildet dann die Algenzellen wie im Durchlicht-Hellfeld ab. Beim Auflicht-Dunkelfeld können Kontrast und vor allem reliefartige Abbildung sehr gut durch drehbare, variable Sektorenblenden beeinflusst werden. Polfilter und Blenden verringern jedoch die Lichtintensität so gravierend, dass auf eine starke Halogenbeleuchtung nicht verzichtet werden kann. Zur detaillierten Darstellung der Theorie, der Strahlengänge und den weiteren Kontrastierungs- und Einsatzmöglichkeiten des Auflichtmikroskops sowie der kombinierten Anwendung von Durchlicht und Auflicht sei vor allem auf Beyer und Riesenberg (1988) sowie Appelt (1982) und Göke (1988) verwiesen.

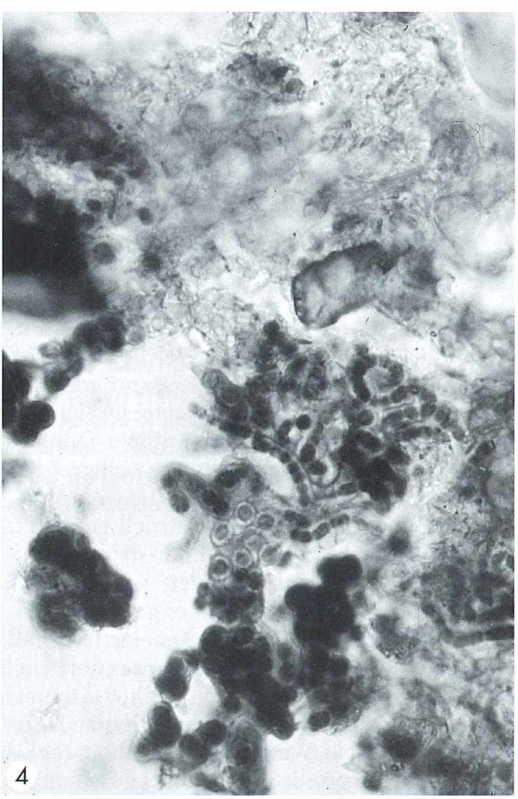
Bodenkrusten mit dem Cyanobakterium Nostoc commune

Auf besonnten, meist kalkhaltigen Böden bildet die Cyanobakterienart *Nostoc commune* makroskopisch auffallende, dunkelbraun-olivfarbene, bei Feuchtigkeit aufgequollene, gallertige Lager, die mit zunehmendem Wachstum biologische Bodenkrusten bilden und sich teilweise von der Unterlage abheben. Bei Trockenheit sind diese Krusten papierdünn und brüchig. Zur auflichtmikroskopischen Untersuchung eignen sich besonders die Initialstadien der Bodenbesiedlung. Die von Gallerte umhüllten Trichome liegen zu dickeren, gallertigen Strängen vereinigt noch dicht dem Bodensubstrat auf und bilden eine von Lücken durchsetzte, gekräuselte Oberflächenstruktur (Abb. 1). Derartig bewachsene Bodenoberflächen lassen sich ausgestanzt in einer Petrischale über viele Tage und Wochen beobachten. Völliges Austrocknen schadet nicht, nur direktes Sonnenlicht ist wegen der Bildung von Stauhitze in der Schale zu vermeiden. Mit destilliertem Wasser angefeuchtet, quellen die Lager rasch wieder auf. Kommt wie in den Abbildungen 1–3 das Auflicht-Dunkelfeld zum Einsatz, sollte der eventuell nach Anfeuchten noch vorhandene Wasserfilm abgetrocknet sein. Die Lichtreflexion und -brechung erfolgt dann an den Gallertgrenzen. Mikroskopiert man noch dünne Lagerabschnitte bei hoher Vergrößerung und genügend reflektiertem Licht von der Bodenmatrix, kommt es zur Überlagerung eines Durchlicht-Hellfeldbildes des betreffenden Trichomes mit einem Auflicht-Dunkelfeldbild. Die Zellfäden mit ihrer durchscheinenden Gallerthülle werden nahezu räumlich abgebildet (Abb. 2). Das Trichomwachstum führt schließlich zu einem Aufwölben und vor allem zu einer Zerklüftung und damit zu einer für die Wasserversorgung und den Gasaustausch und für die Photosynthese günstigen Oberflächenvergrößerung des Lagers. Durch den Einsatz einer teilabschattenden drehbaren Sektorenblende lässt sich diese – natürlich in Grenzen – als Relief räumlich darstellen (Abb. 3). Zur Ergänzung im Durchlicht-Hellfeld zeigt uns der gefärbte Mikrotomschnitt (vgl. Jahnke, 2001) desselben Lagers auf einem feinkörnigem Schluffboden die vertikale Lagerungsdichte und -anordnung der Trichome (Abb. 4).

Abb. 1: *Nostoc commune* auf feinkörnigem Schluffboden. Die gallertigen Stränge haben Durchmesser zwischen 50 und 100 µm. Auflicht-Dunkelfeld. – Abb. 2: Trichome von *Nostoc commune* in ihren Gallerthüllen. Die einzelnen Zellen sind 5 µm groß. Auflicht-Dunkelfeld. – Abb. 3: Lageroberfläche von *Nostoc commune*. Durch Sektorenblenden kann das Relief der Oberfläche dargestellt werden. Die einzelnen Zellen eines Trichomes sind 5 µm groß. Auflicht-Dunkelfeld. – Abb. 4: Mikrotomschnitt durch die Bodensubstanz mit einem circa 100 µm dicken *Nostoc commune* Lager. Die Gallerthüllen der Trichome sind im Original rot und die Zellen grün-blau gefärbt. Der enge Kontakt der Trichome mit der Bodensubstanz ist im unteren Bildbereich zu erkennen. Die einzelnen Zellen sind 5 µm groß. Durchlicht-Hellfeld.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/





© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

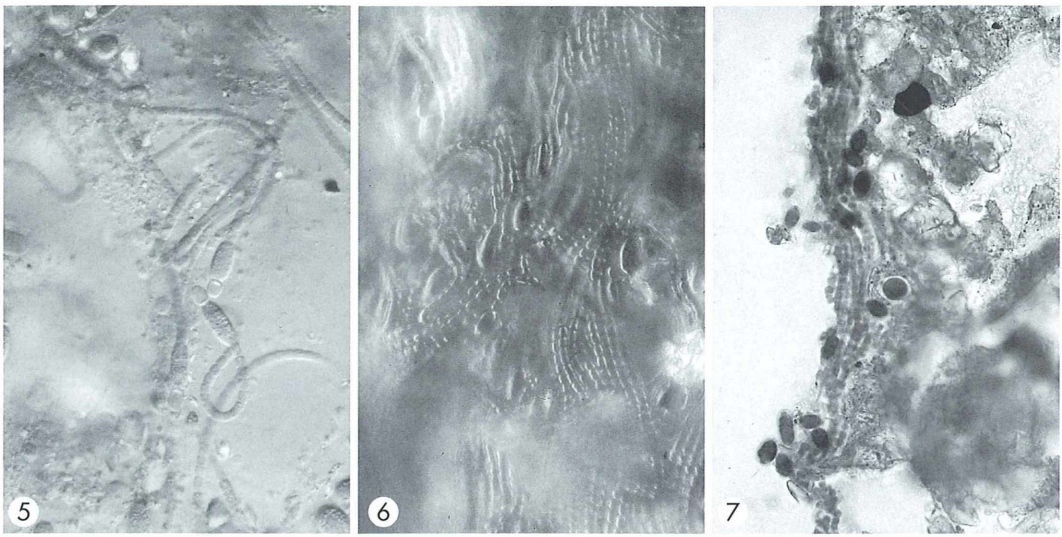


Abb. 5: *Cylindrospermum majus* bildet große elliptische Akineten (10 × 5 µm) am Trichomende mit jeweils einer endständigen Heterocyte. Die Trichome wurden von der Bodenoberfläche abgeschabt. Durchlicht-DIK. – Abb. 6: Die Lageroberfläche von *Cylindrospermum majus* zeigt teilweise parallel verlaufende Trichome mit Akineten (10 × 5 µm). Auflicht-Dunkelfeld. – Abb. 7: Mikrotomschnitt durch das Lager von *Cylindrospermum majus*. Der Biofilm ist etwa 30 µm dick. Das Lager ist von einer gering entwickelten Schleimschicht überzogen. Durchlicht-Hellfeld.

Lager des Cyanobakteriums Cylindrospermum majus

Wie *Nostoc* ist auch die auf Böden häufige in dünnen glatten, meist unauffällig kleinen Lagern wachsende, bläulich-grüne *Cylindrospermum majus* eine mit besonders differenzierten Luftstickstoff fixierenden Zellen, den Heterocyten, ausgestattete Cyanobakterienart. Abbildung 5 zeigt charakteristische Trichome mit jeweils großer Dauerzelle (Akinet) und endständiger kleiner hyaliner Heterocyte im Durchlicht-Interferenzkontrast. Das Auflicht-Dunkelfeldbild (Abb. 6) lässt die schwachwellige, aber nicht zerklüftete Oberfläche des Lagers erkennen. Die Trichome verlaufen partiell gerichtet. Dies, sowie die Schichtdicke und -struktur desselben Lagers auf Schluffboden ist in Abbildung 7 wiederum an Hand eines gefärbten Mikrotomschnittes dargestellt. Im letzten Fall wurde stickstoffarmer Boden am Standort entnommen, luftgetrocknet, gesiebt (< 0,6 mm) und gemischt und dann mit destilliertem Wasser auf maximale Wasserhaltekapazität (Feldkapazität) eingestellt. Der dicke Bodenbrei wurde in einer Petrischale glattgestrichen, eventuell überschüssiges Wasser mit Fließpapier abgesaugt und mit geschlossenem Deckel ins Licht gestellt. Nach einigen Wochen sind, genug Bodenfeuchte vorausgesetzt, die ersten Algenkolonien makroskopisch erkennbar.

Biofilmbildung nach Beimpfen einer Bodenmatrix mit Algen

Eine derartige Bodenmatrix kann auch gezielt mit Algen beimpft werden, um deren Wachstum zu verfolgen. Die folgenden Auflicht-Hellfeld Untersuchungen wurden an vergleichbar vorbereiteten Bodenpräparationen durchgeführt.

Es handelte sich bei diesem Bodentyp um eine kalkhaltige dunkelgraue Rendzina aus Mergel mit höherem Sandanteil, das heißt auch größeren Quarzkörnern und Humusbestandteilen. Neben einer sehr diversen Algenflora bildete sich auch ein Netz von Moosprotonemata aus. Die Abbildungen 8–10 zeigen jeweils die Oberflächen im Auflicht-Hellfeld ohne kontrast-

© Elsevier GmbH

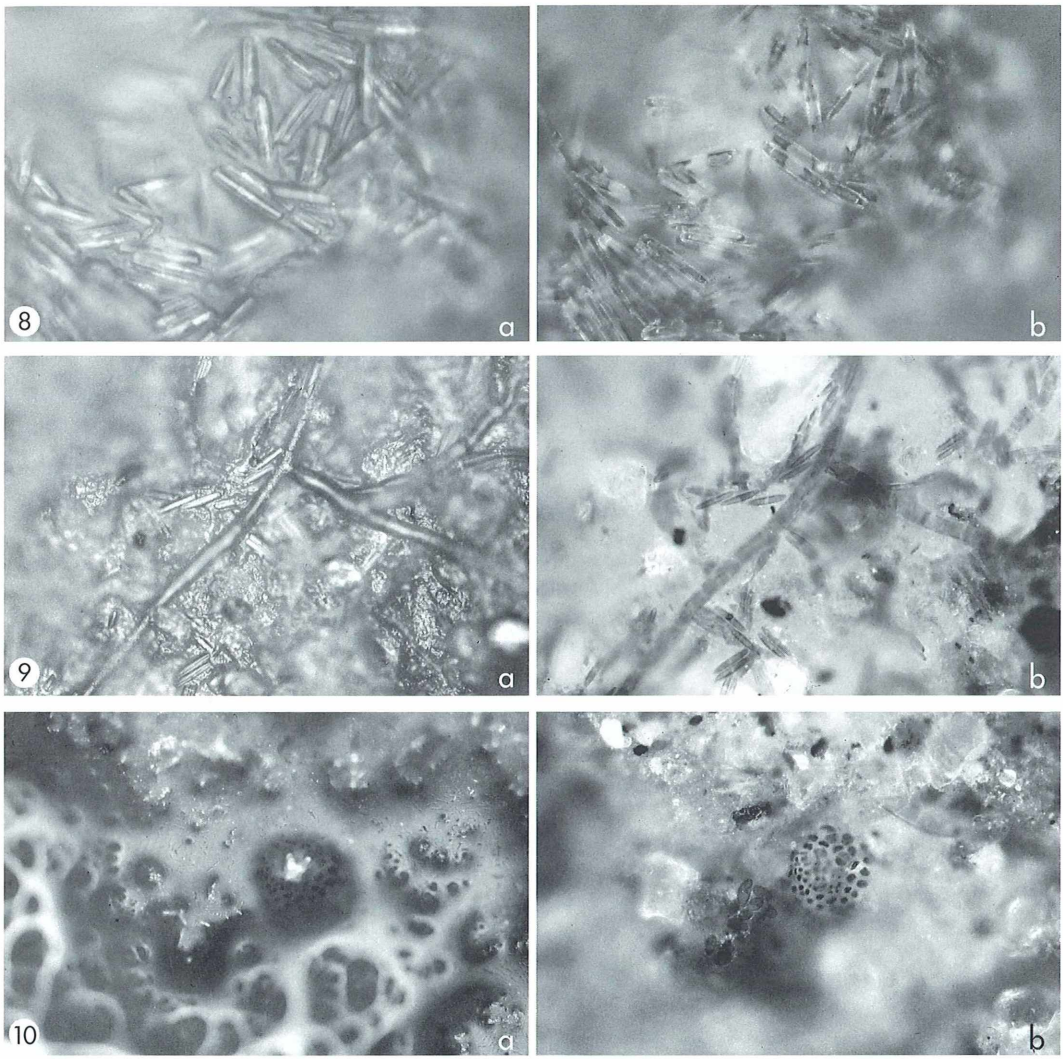


Abb. 8: Ein Biofilm von *Nitzschia* c.f. *dissipata*. Darstellung der Oberfläche ohne Polfilter (a) und mit gekreuzten Polfiltern (b). *Nitzschia*-Zellen sind zum Teil von einem Wasserfilm bedeckt. Die Zellgröße von *Nitzschia* beträgt 35 × 5 µm. Auflicht-Hellfeld. – Abb. 9a und b: Bodenoberfläche mit Moosprotonema (Durchmesser 10 µm) und begleitenden *Nitzschia*-Zellen. – Abb. 10: a Aus dem Wasserfilm zwischen den Bodenpartikeln ragt das Aggregat (Durchmesser 37 µm) einer kapsalen Grünalge. Auf der Wasseroberfläche sind Bakterienzellen zu erkennen. b bei gekreuzten Polfiltern werden noch coccale Grünalgen sichtbar. Auflicht-Hellfeld.

beeinflussende Maßnahmen (a) und bei gekreuzter Polfilterstellung (b). Der Aufwuchs der Kieselalge *Nitzschia* c.f. *dissipata* ragt teilweise über den Wasserfilm des Bodens hinaus, wie die Reflexe an den Kieselschalen zeigen (Abb. 8a). In Abbildung 8b sind bei gekreuzten Polfiltern nunmehr die einzelnen Zellen, auch die im Wasser liegenden, gut zu erkennen, so dass sich beide Abbildungsverfahren ergänzen. Wie Zellschläuche liegen Moosprotonemata der Bodenmatrix auf (Abb. 9a). Die Verteilung von Bodenpartikeln, Protonema und begleiten-

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

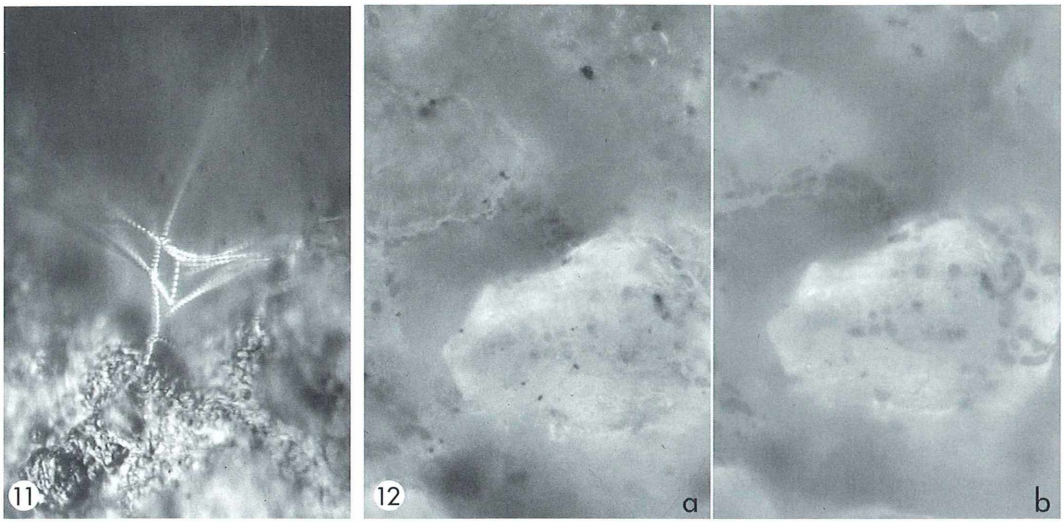


Abb. 11: In die Lufträume des Bodens breiten sich nicht selten Actinomyceten-Luftmycelien (0,5 bis 1 µm Durchmesser) wie hier von *Streptomyces* aus. Auflicht-Hellfeld. – Abb. 12: Zellen von *Xanthonema hormidioides* auf einem Quarzsandkorn. Die Zellgrößen liegen zwischen 4 µm und 6 µm. a mit gekreuzten Polfiltern, b zusätzlich mit Blaufilter (BG 12/2). Auflicht-Hellfeld.

den *Nitzschia*-Zellen wird in Abbildung 9b deutlicher; doch geht der Eindruck der räumlichen Anordnung etwas verloren. Abbildung 10a schließlich zeigt ein gallertiges Grünalgenaggregat mit umgebendem Wasserfilm, auf dem eine Kahmhaut bildende Bakterien zu erkennen sind. Mit Polfiltern in Kreuzstellung werden coccale Grünalgenzellen neben dem Aggregat erkennbar (Abb. 10b).

Der oft dichte Bakterienaufwuchs auf Bodenoberflächen ist meist zu durchscheinend und wenig reflektierend, so dass nur die Auflichtfluoreszenzmikroskopie nach Anfärbung der Bakterienzellen mit Fluorochromen weiter hilft. Ragen jedoch Luftmycelien der bodenbiologisch bedeutenden Gruppe der Aktinomyceten in luftgefüllte Bodenporen hinein oder über die Bodenoberfläche hinaus, sind die einzelnen Bakterienzellen der Mycelfäden, wie hier von *Streptomyces*, optisch gut auflösbar (Abb. 11). Die Dynamik der Algenzelldichteentwicklung auch auf kleinsten Bodenoberflächenbereichen lässt sich bei beginnender Biofilmentwicklung in situ mit dem Auflichtmikroskop über Tage und Wochen verfolgen. Jedoch sind Arten mit kleinen, wenig Licht absorbierenden Zellen, wie *Xanthonema hormidioides*, einer verbreiteten Bodenalge, manchmal schwierig zu erkennen (Abb. 12a). Hier hilft bei gekreuzten Polfiltern ein zusätzliches strenges Blaufilter (BG 12/2). Das Chlorophyll der Chloroplasten absorbiert das blaue Licht fast vollständig, so dass die Zellen kontrastreich schwarz auf vom reflektierten Licht der Bodenpartikel blauem Untergrund erscheinen (Abb. 12b) und leichter quantitativ erfasst werden können. Die in situ Verdopplungsraten der Bodenalgenbiomasse liegen meist im Bereich von mehr als zwei Tagen. Die Abbildungen 13a, b und c zeigen die Lagerentwicklung einer chlorococcalen Grünalge im Abstand von je zehn Tagen. Nach einem Zuwachs der unbeweglichen Zellen kommt es durch Zoosporenbildung und Ausschwärmen der Zoosporen zu einer Verringerung der Zelldichte.

Biofilmbildung auf künstlichen Substraten

Interessant sind Biofilmbildungen auch auf künstlichen Substraten, wie zum Beispiel konventionellen Acrylfarbenanstrichen der Fassaden und Mauern oder Kunststoff- und Lackbeschichtungen. Trotz des häufigen Wechsels von Feuchte und Trockenheit dieser Lebensräume kommt es zu einer auffälligen, architektonisch-ästhetisch meist nicht geschätzten Besiedlung mit Algen, Flechten und Moosen. Abgehobene bewachsene Acrylfarbschuppen, in unserem

© Elsevier GmbH

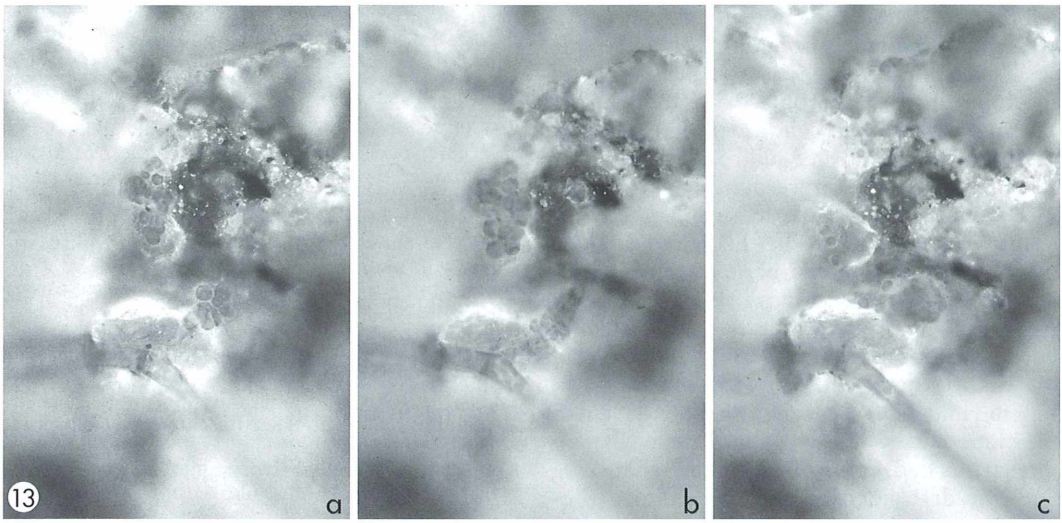


Abb. 13a–c: Die Bildfolge a–c zeigt die Entwicklung einer chlorococcalen Grünalgenart im Abstand von je zehn Tagen. Nach anfänglicher Zellzahl- und Größenzunahme kommt es zu einer Verringerung der Zelldichte durch Zoosporenbildung. Der Durchmesser des Moosprotonemas beträgt 10 µm. Auflicht-Hellfeld.

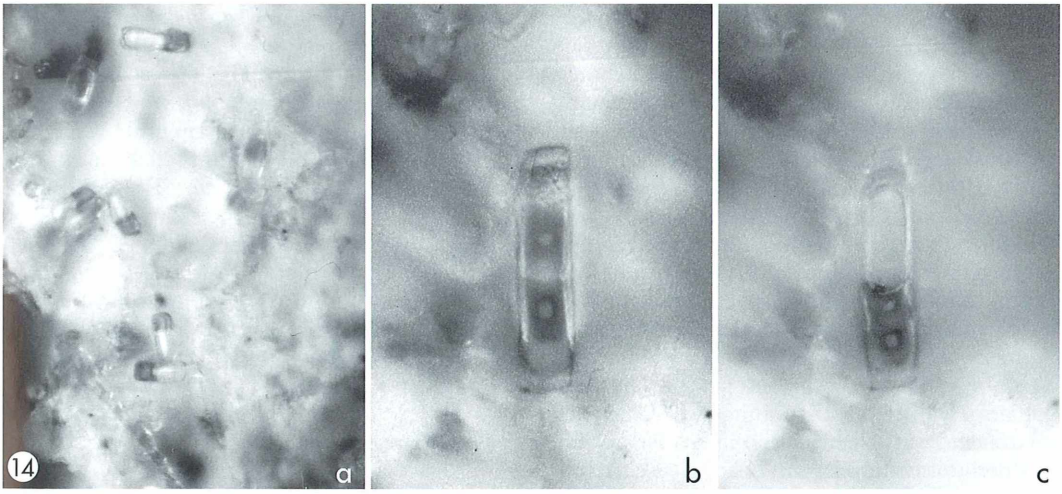


Abb. 14: Diatomeen. a *Hantzschia amphioxys* (40 x 8 µm) auf einem Acrylfarbsplitter in trockenem Zustand. Auflicht-Hellfeld mit Berek-Prisma. b Eine *Hantzschia amphioxys* Zelle im feuchten, aktiven Zustand. c wie b, jedoch im trockenen Zustand. Die Kieselschale ist zum großen Teil mit Luft gefüllt. Auflicht-Hellfeld mit Berek-Prisma.

Fall von einer Mauerkrone, auf der das Regenwasser nicht zu schnell abläuft, sind nicht selten von charakteristischen Luftplanktonalgen wie der Diatomee *Hantzschia amphioxys* besiedelt. Auf der Übersichtsdarstellung (Abb. 14a) ist bereits zu erkennen, dass die dunklen Chloroplasten zu einem Zellpol hin zusammengeschoben sind. Aufgrund der Reflexionseigenschaft der übrigen Zelle beziehungsweise Zellwand sollte die Kieselschale mit Luft aus-

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

gefüllt sein. Dieses Bild bieten die Zellen im trockenen Zustand. Abbildung 14b zeigt eine der Zellen im aktiven Zustand bei genügend Feuchtigkeit. Die Chloroplasten sind in Gürtelbandansicht symmetrisch in der Zelle verteilt. Lässt man während der mikroskopischen Beobachtung das Wasser verdunsten, kommt es nach wenigen Minuten auch zu einem Wasserverlust der Diatomeenzelle. Fädige Grünalgen auf diesem Substrat wie beispielsweise *Zygogonium ericetorum* schrumpfen bei Wasserverlust. Die starre Kieselwand der Diatomee kann jedoch der Volumenverringerung nicht folgen. Die Vakuole und der Protoplast schrumpfen in diesem Falle nicht langsam innerhalb der Frustel, sondern Luft dringt vom apikalen Schalenbereich aus in Sekundenbruchteilen schlagartig ein. Mit der Videokamera kann dieser Moment ohne Probleme dokumentiert werden. Die Luftblase vergrößert sich dann schnell auf Kosten der Vakuole, während sich der Protoplast mit den Chloroplasten zum entgegengesetzten apikalen Pol der Zelle zurückzieht (Abb. 14c). Nach diesem innerhalb von fünf Sekunden abgeschlossenen Vorgang kann durch Befeuchten der aktive Zustand wieder hergestellt werden. Die Kieselschale füllt sich in Sekunden mit Wasser, die Luft entweicht am apikalen Pol. Bis allerdings der Protoplast und die Vakuole wieder Wasser aufgenommen haben und die Chloroplasten symmetrisch verteilt sind, vergehen einige Stunden. Im trockenen Zustand können die Zellen leicht vom Wind fortgetragen werden – ein effektiver Verbreitungsmechanismus. Auch die kleinere Diatomee *Pinnularia borealis*, an derartigen Standorten ebenfalls nicht selten, reagiert wie *Hantzschia* auf Trockenheit in derselben Weise.

Die ausgewählten Beobachtungen bezogen sich vorwiegend auf Algen. Diese sind aber nur ein Teil der mikroskopischen Lebensgemeinschaften terrestrischer Oberflächen. So bietet sich beispielsweise neben der Pilz- und Flechtenentwicklung auch der zoologische Teil dieser allgegenwärtigen Biozönosen zur mikroskopischen Untersuchung und zum Experimentieren an.

Literaturhinweise

Appelt, H.: Spiegelreflexmikroskopie, eine neue Methode in der Auflicht-Hellfeldmikroskopie. Mikrokosmos *71*, 59–62 (1982).

Beyer, H., Riesenberg, H.: Handbuch der Mikroskopie. VEB Verlag Technik, Berlin 1988.

Dunk, K. v.d.: Das Dach als Lebensraum. I. Algen und Flechten als Pioniere. Mikrokosmos *77*, 226–232 (1988).

Ettl, H., Gärtner, G.: Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1995.

Fischer, N.: Bodenalgen – Ein Leben auf dem Trockenen. Mikrokosmos *82*, 173–180 (1993).

Göke, G.: Simultane Auflicht-Durchlicht-Mikroskopie. Mikrokosmos *77*, 312–317 (1988).

Hausmann, K.: Auflichtmikroskopie. Mikrokosmos *71*, 98–99 (1982).

Hoc, S.: Algen auf überrieselten Felsen. Mikroökologie eines extremen Biotops. Mikrokosmos *76*, 225–228 (1987).

Jahnke, J.: Algenbiofilme auf Bodenoberflächen: Strukturanalyse an Paraffinschnitten. Mikrokosmos *90*, 149–156 (2001).

Kremer, B. P.: Rindenbewohnende Grünalgen – Leben in Licht und Luft. Mikrokosmos *86*, 135–141 (1997).

Kremer, B. P.: Grüne Algen auf Baumrinden – Ein ausgedehntes Problem. Mikrokosmos *87*, 25–28 (1998).

Verfasser: Dr. Joachim Jahnke, RWTH-Aachen, Institut für Botanik, Ökologie des Bodens, Worringerweg 1, D-52056 Aachen

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Räuberische Lebensweise bei Ciliaten – Fallbeispiel Homalozoon vermiculare Teil 2: Kannibalismus oder doch nur ein Zufall?

Doreen Baumberg und Klaus Hausmann

Als Kannibalismus (von span. *Caribales* bzw. *Canibales* für den Stammesnamen der Cariben) wird das Verzehren von Artgenossen oder Teilen derselben bezeichnet. Dabei unterscheidet man im Tierreich zwischen aktivem und passivem Kannibalismus, wobei die Beute vor dem Fressen zunächst gejagt wird beziehungsweise bereits tote Artgenossen verspeist werden. Im Fall des räuberischen Ciliaten *Homalozoon vermiculare* muss nun allerdings eine dritte Form des Kannibalismus eingeführt werden – der zufällige Kannibalismus!

Ciliaten können nach Art der Nahrungsbeschaffung in Filtrierer und Schlinger unterteilt werden (Hausmann, 2002; Hausmann et al., 2003). Zu den Filtrierern gehört beispielsweise *Paramecium caudatum*, das mit Hilfe der Cilien einen Wasserstrom erzeugt und so die Nahrungspartikel in Richtung Cytostom bewegt. Schlinger wie zum Beispiel *Homalozoon vermiculare* sind oft langsame Schwimmer, die ihre Beute mit so genannten Toxicysten paralysieren beziehungsweise töten und sie schließlich als Ganzes verschlingen (Baumberg und Hausmann, 2004). Fressen mehrere Räuber an einem Futterorganismus, kommt es häufig vor, dass eines der beiden Homalozoen in die Oralregion des anderen gezogen wird und in einigen Fällen auch vollends verschlungen werden kann.

Jagd nach Futterorganismen

Zur Beobachtung des Fressvorgangs wurden 2–3 Tage gehungerte *Homalozoon vermiculare* mit einem hohen Nahrungsangebot konfrontiert. Für die ersten Fütterungsversuche wurden Colpidien gewählt, die auch als Futter für die Stammkulturen dienten. Später wurden Versuche mit *Paramecium bursaria* durchgeführt. Der Fressvorgang wird durch den zufälligen Kontakt der Beute mit der Oralregion des Räubers initiiert. Daraufhin werden die Toxicysten abgeschossen, wodurch die Beute meist getötet wird (Hausmann, 1978).

Flucht ist aussichtslos

Nach dem Abschuss der Toxicysten konnte beobachtet werden, dass die im Gegensatz zu *P. bursaria* deutlich kleineren Colpidien meist sofort nach der Attacke immobilisiert waren, zum Teil zerfielen und innerhalb von circa 30 Sekunden verschlungen wurden. Nur selten können verletzte Colpidien ihrem Angreifer entfliehen. Paramecien dahingegen entkommen in 90% der Fälle zunächst nach dem Angriff dem Räuber. Sie reagieren auf die Attacke mit dem Abschuss so genannter Trichocysten, die der Verteidigung dienen. Dann flüchten die getroffenen Tiere in einer schraubigen Bewegung. Nach 1–2 Minuten liegen diese Paramecien aber schließlich dann doch aufgrund der Toxicystenattacke regungslos auf dem Petrischalenboden. Diese toten Tiere können offenbar auf irgendeine Art und Weise von Homalozoen wahrgenommen werden, denn schon kurze Zeit später nähern sich meist mehrere Räuber dieser Beute, um sie zu verschlingen.

Das große Fressen

Wenn mehrere Homalozoen sich einem toten Beutetier nähern, fangen diese meist gleichzei-

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

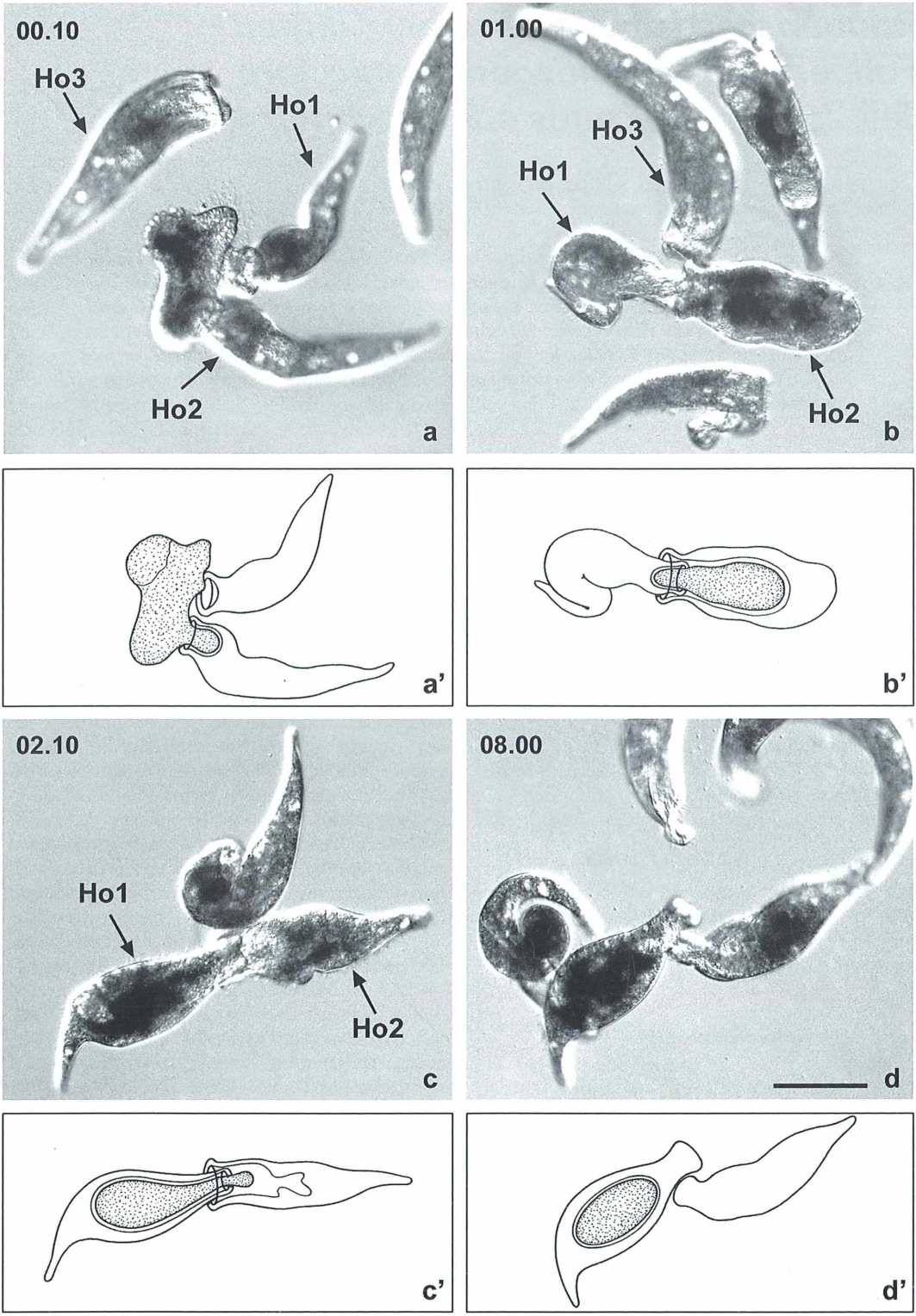


Abb. 2: Transmissionselektronenmikroskopischer (TEM) Längsschnitt durch zwei fressende Homalozoen. Die Situation gleicht der aus Abbildung 1b/b′, bei der zwei Räuber an einer Beute fressen. Das linke *Homalozoon* (Ho1) ingestiert das *Colpidium* (Co), während das rechte Tier (Ho2) Ho1 inklusive *Colpidium* zu ingestieren versucht. Balken = 10 µm.

tig an, die Beute zu ingestieren (Abb. 1a). Dabei kommt es sehr häufig vor, dass einer der Räuber von dem anderen während des Fressaktes zum Teil mit in die Mundöffnung beziehungsweise in die sich bildende Nahrungsvakuole gezogen wird (Abb. 1b, Abb. 2). Teilweise kann es in diesen Fällen dazu kommen, dass das hineingezogene *Homalozoon* dem anderen die bereits ingestierte Nahrung wieder entzieht (Abb. 1c), bevor dieses die Nahrungsvakuole abschnüren konnte. Der (Mund-)Räuber bildet also seinerseits eine Nahrungsvakuole und nimmt die Beutefragmente aus der Vakuole des anderen auf. Nachdem einer der beiden Homalozoen die Beute vollständig ingestiert und die Vakuole sich vom Cytostom gelöst hat, trennen sich die Räuber meist unversehrt voneinander (Abb. 1d).

„Friendly Fire" ausgeschlossen

Interessant ist hierbei, dass der Räuber seinen Artgenossen verschont und nicht zusammen mit der Beute verschlingt. *Homalozoon* muss offenbar über einen Erkennungsmechanismus

Abb. 1a–d: Ingestion von *Paramecium bursaria* durch zwei Homalozoen. a Zwei Homalozoen (Ho1 und Ho2) beginnen mit der Phagocytose, während sich ein drittes Tier mit geöffneter Oralregion nähert (Ho3). Die Zahlen oben links geben die Zeit in Minuten und Sekunden (00.00 = Min.Sek) an, die seit Beginn des Fressvorgangs verstrichen ist. Die Schemazeichnungen (1a′–d′) dienen zur Verdeutlichung der Situation in den entsprechenden Abbildungen 1a–d. b Ho2 nimmt die Beute auf und zieht dabei Ho1 in die sich bildende Nahrungsvakuole. Das dritte *Homalozoon* (Ho3) kommt zu spät. c Die Oralregion von Ho1 ist vollständig in der Vorderregion von Ho2 verschwunden. Ho1 bildet seinerseits eine Nahrungsvakuole und entzieht Ho2 die Beutefragmente. d Schließlich trennen sich die beteiligten Homalozoen unversehrt voneinander. Balken = 100 µm.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten. www.elsevier.de

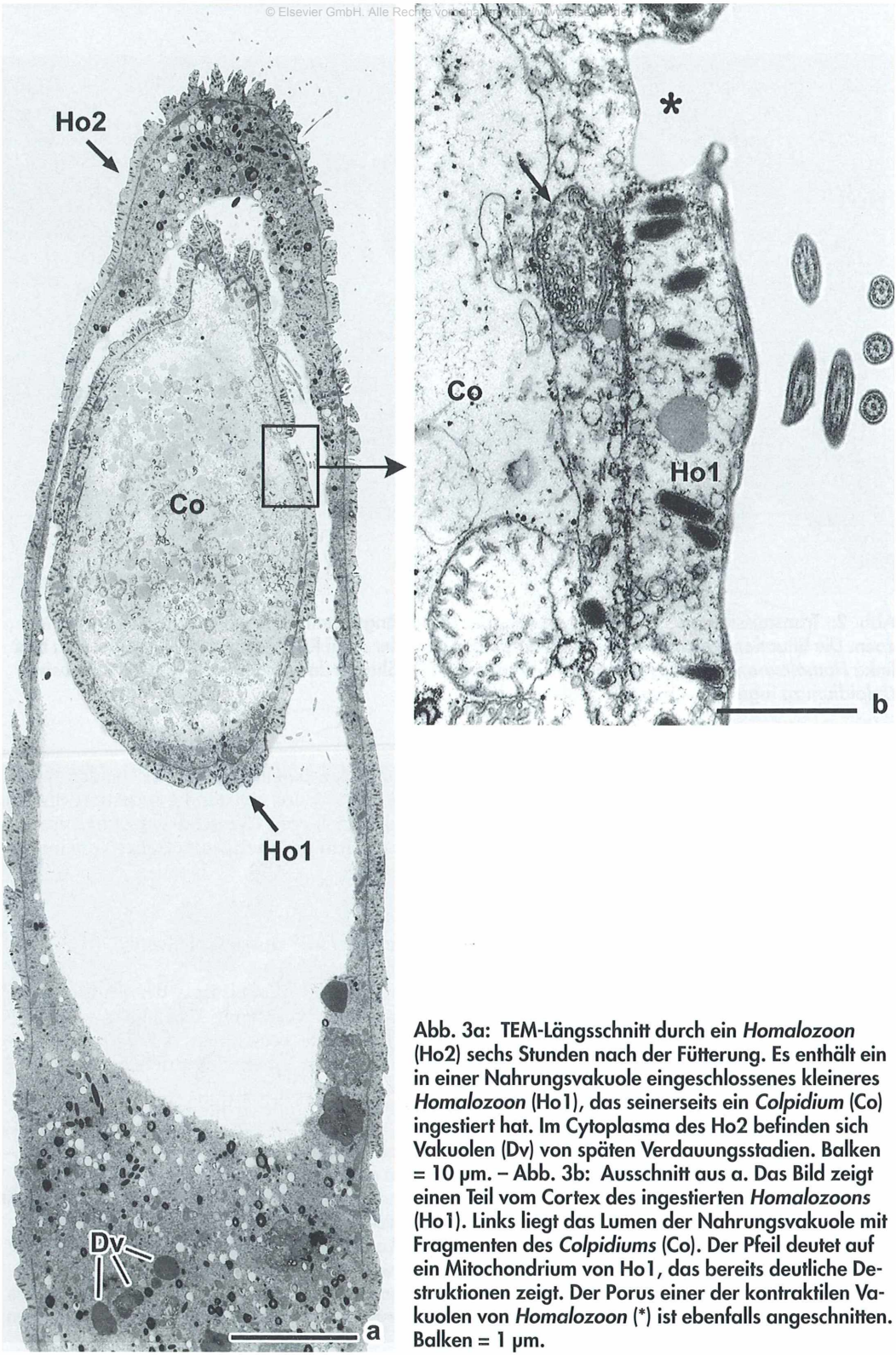


Abb. 3a: TEM-Längsschnitt durch ein *Homalozoon* (Ho2) sechs Stunden nach der Fütterung. Es enthält ein in einer Nahrungsvakuole eingeschlossenes kleineres *Homalozoon* (Ho1), das seinerseits ein *Colpidium* (Co) ingestiert hat. Im Cytoplasma des Ho2 befinden sich Vakuolen (Dv) von späten Verdauungsstadien. Balken = 10 µm. – Abb. 3b: Ausschnitt aus a. Das Bild zeigt einen Teil vom Cortex des ingestierten *Homalozoons* (Ho1). Links liegt das Lumen der Nahrungsvakuole mit Fragmenten des *Colpidiums* (Co). Der Pfeil deutet auf ein Mitochondrium von Ho1, das bereits deutliche Destruktionen zeigt. Der Porus einer der kontraktilen Vakuolen von *Homalozoon* (*) ist ebenfalls angeschnitten. Balken = 1 µm.

verfügen, der ihm eine Unterscheidung von Beute und Artgenossen ermöglicht. Dass Homalozoen zwischen den Arten differenzieren können, wird bereits im Zusammenhang mit der Jagd nach Beuteorganismen deutlich. Der genaue Auslöser für den Abschuss der Toxicysten nach dem zufälligen Kontakt des Beutetiers mit der Oralregion von *Homalozoon* ist noch unklar. Der Aufprall allein kann jedenfalls nicht dafür verantwortlich sein, da es, wie wir es beobachten konnten, bei einem Zusammenstoß mit einem anderen *Homalozoon* genauso wenig wie beim Kontakt mit einem größeren Flagellaten wie beispielsweise mit dem Euglenozoen *Entosiphon* zum Abschuss von Toxicysten kommt. Es müssen also Rezeptoren vorhanden sein, die sowohl den Abschuss als auch das Verschlingen eines Artgenossen oder ungeeigneter Nahrungsorganismen verhindern.

Dass Einzeller in der Lage sind zu differenzieren, zeigten Fütterungsversuche mit den Räubern *Didinium nasutum* (Berger, 1980) und *Litonotus lamella* (Ricci et al., 1996), die offensichtlich bestimmte Beuteorganismen bevorzugen und diese von anderen Futtertieren unterscheiden können. Wenn das nicht der Fall wäre, könnte ein *Homalozoon* jeder Zeit ein anderes *Homalozoon* abschießen und fressen, was keine besonders sinnvolle Strategie bezüglich der Arterhaltung wäre. Die Größe des Beutetiers ist für den Räuber jedenfalls nicht wirklich limitierend. Er ist ohne weiteres in der Lage, Beute aufzunehmen, die mindestens der Hälfte seiner Körperlänge entspricht und wurde auch schon dabei beobachtet, wie er *Paramecium caudatum* quer verschlang (Kuhlmann et al., 1980; Kuhlmann und Hausmann, 1983).

Wenn der Freund zum Feind wird

Offenbar nimmt aber nicht immer jede Begegnung, wie sie in Abbildung 1a–d gezeigt wurde, ein gutes Ende – zumindest für einen der beteiligten Räuber. Fressen zwei Homalozoen unterschiedlicher Größe an einer Beute, kann es beim Fressakt zur kompletten Aufnahme des kleineren Individuums durch das größere Tier kommen. In Abbildung 3a ist ein *Homalozoon* gezeigt, in dessen Inneren sich eine große Nahrungsvakuole befindet. Die Nahrungsvakuole enthält ein kleines *Homalozoon*, das seinerseits von einer großen Vakuole ausgefüllt ist, die Beutefragmente beinhaltet. Was ist passiert? Die einfachste Erklärung ist natürlich, dass das kleinere Tier aus Versehen, beim Fressen des Beutetiers, vom größeren ingestiert wurde. Das müsste dann kurz vor der Fixierung der Tiere abgelaufen sein, denn das kleine *Homalozoon* zeigt kaum Spuren der Verdauung (Abb. 3b). Und auch die Beutefragmente im kleinen *Homalozoon* sind nicht verdaut, was darauf hindeutet, dass es dazu nicht mehr gekommen ist. Ein Problem bei dieser Erklärung ist allerdings, dass den Räubern zum Zeitpunkt der Fixierung beziehungsweise kurz davor keine Beutetiere zur Verfügung standen. Die Tiere sind sechs Stunden vor der Fixierung gefüttert worden, um den Verdauungsprozess nach dieser Zeit untersuchen zu können. Nachdem die Tiere gefressen hatten, wurden sämtliche Futterorganismen aus dem Medium entfernt. Damit stellt sich also die Frage: *Wann wurde das kleinere Homalozoon gefressen?* Mit den möglichen Antworten ergeben sich allerdings weitere Fragen;

a) Es wurde zum Zeitpunkt der Fütterung gefressen:
→ *Warum ist es dann innerhalb der sechs Stunden nicht verdaut worden?*

b) Es wurde kurz vor der Fixierung gefressen:
→ *Warum ist es gefressen worden, obgleich es doch offenbar Arterkennungsmechanismen gibt?*
→ *Wieso hat das kleine Homalozoon dann nicht mittlerweile das vor sechs Stunden aufgenommene Beutetier verdaut?*

Eine Möglichkeit wäre auch, dass das kleine *Homalozoon* kurz nach der Aufnahme der Beute aus irgendeinem Grund gestorben ist (daher keine Verdauung des Futters und keine Arterkennung mehr) und schließlich kurz vor der Fixierung von dem großen *Homalozoon* gefressen wurde (daher keine Verdauung des kleinen Tiers). Diese Erklärungsalternative ist allerdings sehr gewagt und sehr unwahrscheinlich.

Was diesen Fall angeht, so muss man sich hier mit Spekulationen zufrieden geben. Eine eindeutige Erklärung kann für dieses doch sehr seltene Ereignis derzeitig nicht erfolgen. Aufgrund der im Verlauf der Untersuchungen gemachten Beobachtungen kann man jedoch im Allgemeinen davon ausgehen, dass es bei *Homalozoon vermiculare* keinen gezielten Kannibalismus gibt. Vielmehr handelt es sich bei den

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

hier dokumentierten Beispielen sicherlich um einen Unfall beim Fressakt der Räuber.

Danksagung

Wir bedanken uns herzlich bei Peter Adam, wissenschaftlicher Zeichner unseres Instituts, für die Anfertigung der Abbildungen 1a′–d′.

Literaturhinweise

Baumberg, D., Hausmann, K.: Fressen und gefressen werden bei Ciliaten – Fallbeispiel *Homalozoon vermiculare*. Teil 1: Nahrungserwerb und Nahrungsaufnahme. Mikrokosmos *93*, 221–226 (2004).

Berger, J.: Feeding behaviour of *Didinium nasutum* on *Paramecium bursaria* with normal or apochlorotic zoochlorellae. Journal of General Microbiology *118*, 397–404 (1980).

Hausmann, K.: Extrusive organelles in protists. International Review of Cytology *52*, 197–276 (1978).

Hausmann, K.: Food acquisition, food ingestion and food digestion by protists. Japanese Journal of Protozoology *35*, 85–95 (2002).

Hausmann, K., Hülsmann, N., Radek, R.: Protistology, 3rd edition. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 2003.

Kuhlmann, S., Hausmann, K.: Ultrastrukturelle Untersuchungen zur Nahrungsaufnahme bei *Homalozoon vermiculare* Stokes 1887. Protistologica *19*, 111–122 (1983).

Kuhlmann, S., Patterson, D. J., Hausmann, K.: Untersuchungen zu Nahrungserwerb und Nahrungsaufnahme bei *Homalozoon vermiculare*, Stokes 1887. 1. Nahrungserwerb und Feinstruktur der Oralregion. Protistologica *16*, 39–55 (1980).

Ricci, N., Morelli, A., Verni, F.: The predation of *Litonotus* on *Euplotes*: a two step cell-cell recognition process. Acta Protozoologica *35*, 201–208 (1996).

Verfasser: Dipl. Biol. Doreen Baumberg und Prof. Dr. Klaus Hausmann, Freie Universität Berlin, Institut für Biologie/Zoologie, AG Protozoologie, Königin-Luise-Str. 1–3, D-14195 Berlin

Neue Medien

Schmeil-Fitschen interaktiv: Die Flora von Deutschland, CD-ROM Version 2.0. Quelle & Meyer Verlag GmbH & Co, Wiebelsheim 2004, € 50,00, circa 4.000 farbige Abbildungen und zahlreiche Strichabbildungen, DVD-Box mit Booklet, ISBN 3-494-01368-3.

Die CD-ROM umfasst die Flora von Deutschland und weiterer angrenzender Gebiete von den Farnen über Gräser, Kräuter und Stauden bis hin zu den Gehölzen. Der Bestimmungsschlüssel aus dem Buch *Schmeil-Fitschen, Flora von Deutschland* wurde dabei mit einer Vielzahl biologischer Daten zu einem umfassenden Nachschlagewerk zusammengeführt.

Die CD-ROM ist einfach zu installieren und besitzt eine übersichtliche Benutzeroberfläche. Neben dem Bestimmungsschlüssel gibt es eine zusätzliche Bestimmungsmöglichkeit, diese erfolgt durch die Auswahl einfacher äußerer Merkmale, so dass man sehr leicht und schnell zum Ergebnis kommt. Bereichert wird die Datenbank durch farbige Abbildungen zu fast jeder Art. Die Abbildungen sind dabei auf maximal ein Bild pro Art beschränkt, wobei diese größtenteils typisch und leicht vergleichbar ausfallen.
Die Suche nach einer bestimmten Art ist leider nicht über eine komfortable Suchfunktion mit Eingabe des Namens, sondern nur in einer Liste aller Arten beziehungsweise Gattungen über die Informationsdatenbank möglich. Diese Datenbank ist sehr umfassend und liefert für viele Arten eine nahezu lückenlose Dokumentation des floristischen Kenntnisstandes, angefangen bei Merkmalen und Kennzeichen, über Vorkommen, Lebensform, Zeigerwerte, Gefährdung, Inhaltsstoffe, Bedeutung der Namen und Soziologie der Pflanzen. Der Benutzer kann zudem zu den einzelnen Arten eigene Ergänzungen (wie etwa Funddaten) hinzufügen. Alle Natur begeisterten Menschen, seien es Fachleute oder Pflanzenliebhaber, können mit dieser CD-ROM vieles, was sie gefunden oder gesehen haben, erkennen und zuordnen, und das bestimmt mit Spaß.

Annette Rother, Berlin

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Sekretorische Drüsengewebe von Pflanzen

Siegfried Hoc

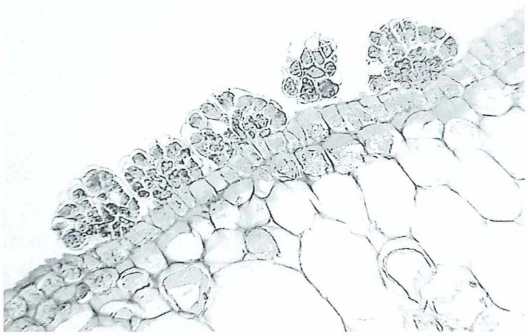
Ein Buch von Svoboda et al. (2000) mit dem Titel *Secretory Structures of Aromatic and Medical Plants*, das mit eindrucksvollen elektronenmikroskopischen Aufnahmen ausgestattet ist, gab mir die Anregung, die Sekretionsorgane einiger Gewürz- und Arzneipflanzen, die leicht zu beschaffen sind, lichtmikroskopisch an Hand einfach herzustellender Präparate zu untersuchen. Der nachfolgende Beitrag sollte botanisch interessierte Leser dazu animieren, dem morphologischen Ursprung von Aromastoffen nachzugehen.

Mehr als 100 000 Produkte des pflanzlichen Sekundärstoffwechsels sind bisher bekannt geworden. Bei ihnen sind wasserlösliche und wasserunlösliche Substanzen zu unterscheiden. Die wasserlöslichen werden fast ausschließlich intrazellulär in Vakuolen gespeichert, die wasserunlöslichen (lipophilen) finden sich dagegen entweder intrazellulär in Chromoplasten oder extrazellulär in speziellen Ausscheidungsorganen. Bekannte Beispiele sind die Nektarien mit denen Nektar sezerniert wird und die Drüsen karnivorer Pflanzen, deren Sekrete hauptsächlich Proteasen sind (Abb. 1 und 2). Sekretionsgewebe bei Pflanzen können einzelne Zellen, Milchröhren, Interzellularräume, Drüsenschuppen und Drüsenhaare sowie sezernierende Epidermiszellen sein.

Ölzellen und Milchröhren

Sind einzelne Zellen wie Ölzellen und Milchröhren die Akkumulationsorte von Sekreten, so werden diese nur freigesetzt, wenn das betreffende Gewebe verletzt wird. Entsprechend ihres einfachen Aufbaues sind Ölzellen bevorzugt bei phylogenetisch niedrig stehenden Pflanzen anzutreffen wie Einfurchenpollen-Zweikeimblättrigen, zum Beispiel bei Pfeffer (*Piper nigrum*; Abb. 3) und Muskatnuß (*Myristica fragrans*; Abb. 4). Auch einkeimblättrige Pflanzen wie Kardamom (*Elettaria cardamomum*) und Ingwer (*Zingiber officinale*) besitzen Ölzellen. Seltener sind sie bei Dreifurchenpollen-Zweikeimblättrigen wie in den Fruchtwänden von Paprika (*Capsicum annuum*).

1



2

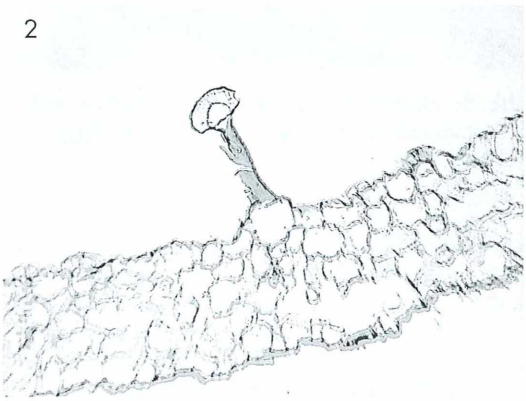
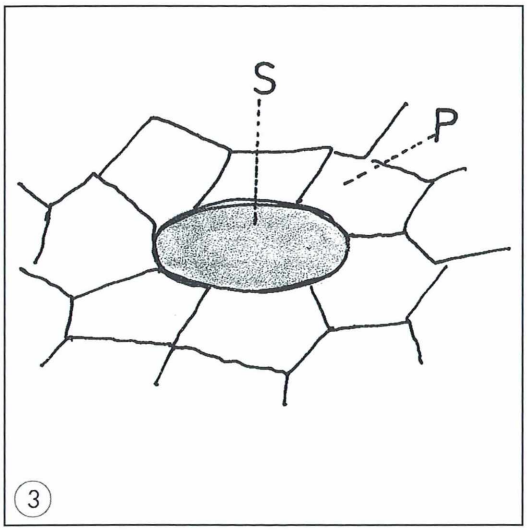


Abb. 1: Querschnitt durch ein Fangblatt der Venusfliegenfalle (*Dionaea muscipula*) mit Drüsenzellen. Vergr. 100fach. – Abb. 2: Drüsenhaar auf dem Fangblatt des Fettkrautes *Pinguicola vulgaris*. Vergr. 100fach.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/



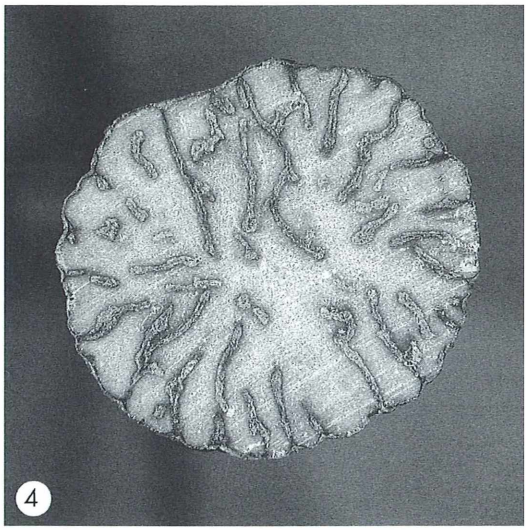


Abb. 3: Sekretzelle im Perispermgewebe des Schwarzen Pfeffers. S = Sekretzelle, P = Perispermzelle. – Abb. 4: Makroaufnahme einer quer geschnittenen Muskatnuss (*Myristica fragans*). Die Sekretzellen liegen im inneren Perisperm, das faltenartig in das Endosperm hineinragt. Vergr. 10fach.

Abb. 5: Milchsaftschläuche einer Euphorbie nach Fixierung mit verdünnter Schwefelsäure. Vergr. 80fach.

Muskatnuß, Kardamom und auch Ingwer müssen vor dem Anfertigen von Handschnitten einen Tag, Pfefferkörner mehrere Tage in Wasser eingeweicht werden. Die Schnittflächen der genannten Gewürze zeigen die Ölbehälter auch im Auflichtmikroskop sehr eindrucksvoll.

Als Milchröhren werden langgestreckte, zum Teil verzweigte Zellen bezeichnet, die Milchsaft enthalten und als Röhrensysteme die Pflanze durchziehen. Sie können eine Länge von mehreren Metern erreichen und besitzen mehrere Zellkerne. Ungegliederte Milchröhren sind bei Wolfsmilchgewächsen (*Euphorbia*; Abb. 5) und dem Gummibaum (*Ficus elastica*) zu finden. Gegliederte Milchröhren aus mehreren Zellen in Reihe angeordnet, findet man bei Schöllkraut (*Chelidonium majus*) und Mohn (Papaveraceae), Löwenzahn (*Taraxacum officinale*) und anderen Asteraceae.

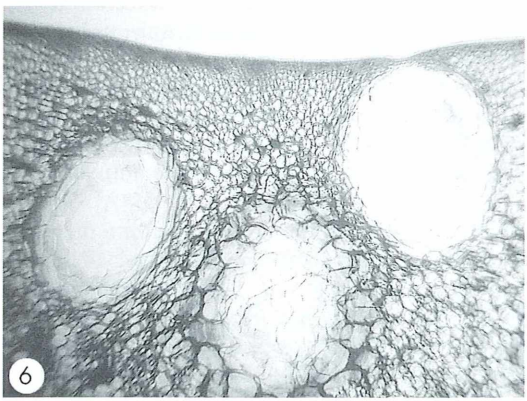
Man fertigt Längs- und Querschnitte durch die Rinde sowie durch Stücke von Stamm und Rhizom an und fixiert mit 10%iger Schwefelsäure, wodurch der Milchsaft in den Röhren ausgefällt wird. Es entstehen wasserunlösliche Alkaloidsulfate und Alkaloidhydrogensulfate, wodurch die Röhren besser sichtbar werden.

Interzellulare Sekreträume

Sekret-Speicherräume zwischen den Zellen können kugelige oder langgestreckte Hohlräume sein. Die kugeligen Sekreträume werden als Ölbehälter bezeichnet, die langgestreckten als Sekret- oder Harzgänge, in denen ätherische Öle, Harze oder Balsame gespeichert werden. Nach ihrer Entstehungsweise werden Sekreträume als lysigen oder schizogen bezeichnet. Lysigen sind sie, wenn ihre Entstehung auf eine Auflösung

© Elsevier GmbH. Alle Rechte

(Lyse) der sekretbildenden Zellen zurückgeht. Schizogen sind sie, wenn die sezernierenden Zellen ihr Sekret in Interzellularräume abgeben, die sich dann durch den zunehmenden Druck spaltförmig erweitern. Daneben gibt es auch Mischformen, bei deren Entstehung beide Vorgänge zusammenwirken. Diese werden folgerichtig als schizolysigen bezeichnet.



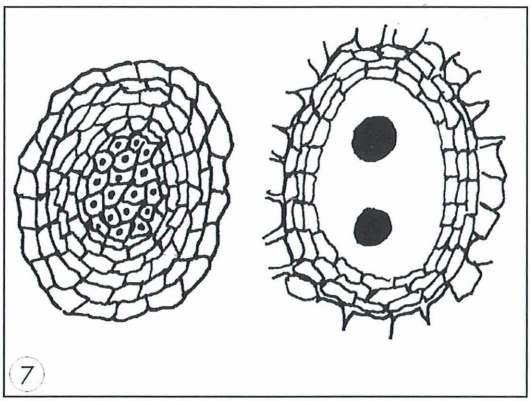
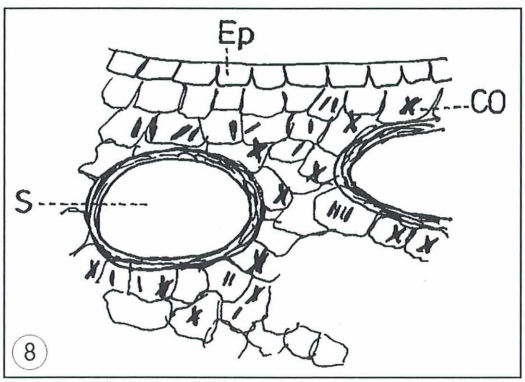
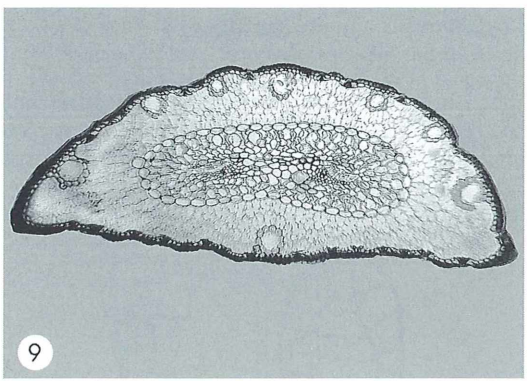
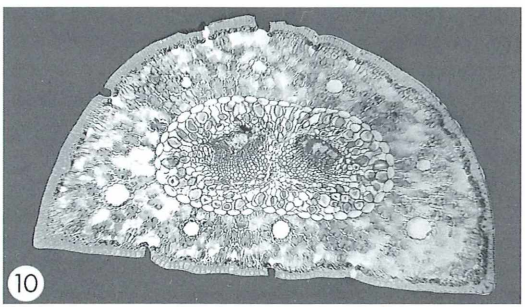


Abb. 6: Sekreträume in der Fruchtschale einer Zitrone (*Citrus limon*). Vergr. 80fach. – Abb. 7: Lysogener Ölbehälter aus der Fruchtschale der Zitrone. Links vor, rechts nach der Auflösung.







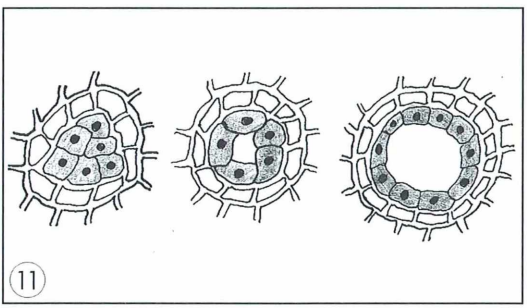


Abb. 8: Querschnitt durch eine Gewürznelke. Ep = Epidermis, S = Sekreträume, CO = Calciumoxalat-Kristalle. – Abb. 9: Querschnitt durch eine Nadel der Bergkiefer (*Pinus montana*). Die acht Harzgänge werden von sezernierenden Zellen ausgekleidet. Vergr. 80fach. – Abb. 10: Querschnitt durch eine Nadel der Schwarzkiefer (*Pinus nigra*) mir Harzkanälen, die mit sezernierenden Zellen ausgekleidet sind. Vergr. 80fach. – Abb. 11: Schizogene Entstehung eines Harzkanals im Holz der Fichte.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Die kugeligen lysigenen und schizolysigenen Sekreträume enthalten fast ausschließlich ätherische Öle. Sie sind in der Schale von Citrus-Früchten (Abb. 6 und 7), im Eukalyptus, Piment (*Pimenta dioica*) und den Kronblättern (Pedalen) der Gewürznelke (*Syzygium aromaticum*; Abb. 8) zu finden. Piment und Gewürznelken können nur geschnitten werden, wenn sie vorher in Wasser aufgeweicht wurden.

In den rein schizogenen Sekreträumen befinden sich vor allem Harze und Balsame (Abb. 9–11). Sie sind auch bei Myrrhe (*Commiphora molmol*), Weihrauch (*Boswellia*-Arten) und *Liquidamba*-Arten (liefern Styrax) sowie weitere Rutaceae und Hamamelidales zu finden. Ein lohnendes Objekt sind die Blätter von Johanniskraut (*Hypericun perforatum*; Abb. 12) mit ihren sphärischen, schizogenen Sekreträumen.

Wenn langgestreckte Sekreträume vorliegen, werden sie als Ölgänge bezeichnet. Sie treten auf in den Früchten der Doldengewächse wie Anis (*Pimpinella anisum*), Kümmel (*Carun carvi*) und Fenchel (*Foeniculum vulgare*) (Abb. 13 und 14). Auch diese Früchte müssen vor

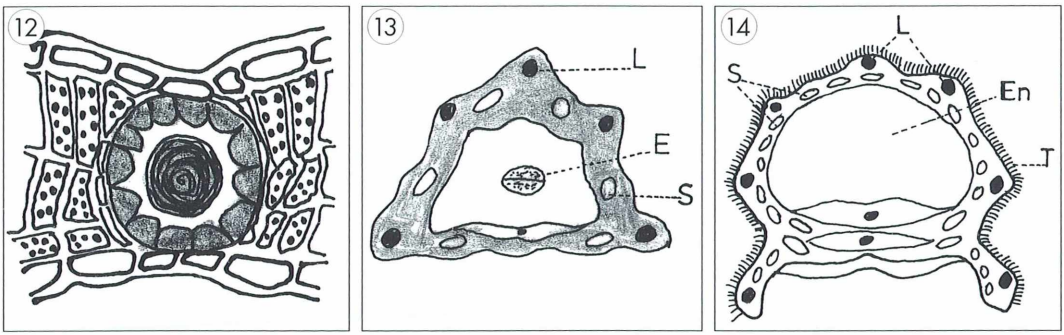


Abb. 12: Schizogener Ölbehälter im Blattquerschnitt von Johanniskraut. – Abb. 13: Querschnitt durch eine Fenchel-Frucht (L = Leitbündel, E = Embryo, S = Sekreträume (Ölgänge)). – Abb. 14: Querschnitt durch eine Anis-Frucht (L = Leitbündel, En = Endosperm, T = Trichome, S = Sekreträume (Ölgänge)).

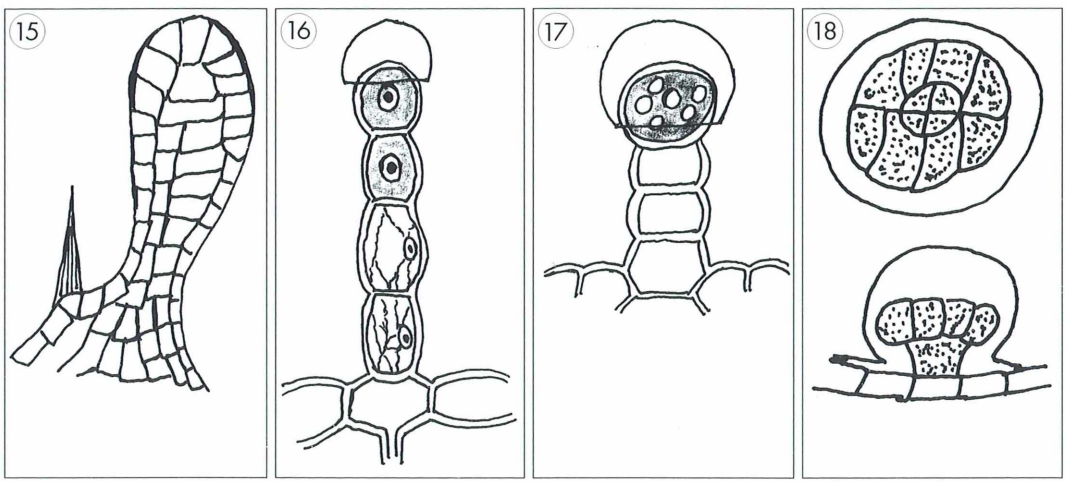


Abb. 15: Drüsenzotte mit Drüsenepithel vom Nebenblatt des Stiefmütterchens *Viola tricolor*. Daneben ein einzelliges Haar. – Abb. 16: Drüsenhaar vom Blattstiel der Becherprimel *Primula obconica*. – Abb. 17: Drüsenhaar vom Blütenstiel der Pelargonie. – Abb. 18: Drüsenschuppen von einem Blatt der Pfefferminze. Zu sehen sind acht sezernierende Zellen. Oben Aufsicht, unten Seitenansicht.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

dem Schneiden von Querschnitten aufgeweicht werden. Das gilt auch für getrocknete Kamillenblüten (*Chamomilla recutita*). Schnitte durch den Blütenboden zeigen ebenfalls Ölgänge.

Drüsenhaare und -schuppen

Trichome der Pflanzen sind Sonderbildungen der Epidermis. Drüsenhaare sind modifizierte Trichome (Abb. 15–17). Drüsenhaare mit kurzem Stiel werden als Drüsenschuppen bezeichnet (Abb. 18). Beide Typen enthalten Drüsenzellen und produzieren ätherische Öle. Charakteristische Drüsenschuppen aus einer scheibenförmigen Stielzelle und mehreren, auf ihr nebeneinander angeordneten Drüsenzellen, besitzen zum Beispiel Salbei (*Salvia officinalis*) und Pfefferminze (*Mentha piperita*), aber auch andere Minze-Arten. Auf zwei basalen Epidermiszellen sitzende Scheibe aus mehreren Zelletagen bilden die Drüsenschuppen von Beifuß-Gewächsen (*Artemisia*-Arten). Am besten werden frische Pflanzen für die Studien verwendet. Aber auch an getrocknetem Material sind nach dem Aufweichen die entsprechenden Drüsengewebe zu sehen.

Von den Drüsenhaaren abzugrenzen sind die sezernierenden Epidermiszellen, die ein Sekret produzieren und ausscheiden. Sie sind einzeln über die Epidermis verteilt und befinden sich fast ausschließlich an Blütenblättern, entweder an Kronblättern wie bei der Rose und bei Jasmin oder an Kelchblättern von Blütenknospen wie bei Rosskastanie, Kreuzdorngewächsen (z.B. *Rhamnus fragulus*), Birkengewächsen (z.B. *Betula pendula*) und *Prunus*-Arten (Kirsche, Pflaume, Aprikose und Pfirsich).

Literaturhinweise

Braune, W., Leman, A., Taubert, H.: Pflanzenanatomisches Praktikum I und II, 5. Auflage. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1982.
Esau, K.: Pflanzenanatomie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1969.
Fairbairn, J. W., Kapoor, L. D.: The lacticiferons vessel of *Papaver somniferum*. Planta Medica *8*, 49–61 (1960).
Fulde, G., Wichtl, M.: Milchröhren von Schöllkraut. Deutsche Apotheker-Zeitung *133*, 27–30 (1993).
Löbenberg, E., Löbenberg, L.: Drogenkunde mit mikroskopischen Übungen, 5. Auflage. Govi-Verlag, Frankfurt 1977.
Raven, P. H. (Hrsg.): Biologie der Pflanzen. Walter de Gruyter Verlag, Berlin 1985.
Schöpke, Th.: Sekretionsorgane von Arznei- und Gewürzpflanzen. Deutsche Apotheker-Zeitung *142*, 57–62 (2002).
Strasburger, E. (Hrsg.): Lehrbuch der Botanik für Hochschulen, 30. Auflage. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1971.
Svoboda, K. P., Svoboda, T. G., Syred A. D., Syred P. M.: Secretory structures of aromatic and medical plants. Microspix Publications, Middle Travelly, Beguildy, Knighton, Powys 2000.
Woessner, E.: Milchröhrensysteme bei Blütenpflanzen. Mikrokosmos *56*, 246 (1967).

Verfasser. Siegfried Hoc, Mikrobiologische Vereinigung München e.V., Donaustraße 1a, D-82140 Olching
Die Mikrofotografien machte Josef Häckl, Brucker Straße 16 A, D-82275 Emmering.

Kurze Mitteilung

Zelladhäsion

Zellen müssen oft entscheiden, ob sie sich an ein bestimmtes Substrat anheften sollen oder nicht. Solche Anheftung kann sowohl an einer anderen Zelle erfolgen als auch an einem extrazellulären Substrat. Die Situation ist dann für die Zelle völlig anders, da sie in einer wässrigen Lösung frei schwimmt. Es treten Kräfte und Verformungen auf, die mit der eigenen Elastizität, die durch das Zytoskelett erzeugt wird, in Wechselwirkung treten. Es hat sich gezeigt, dass physikalische Aspekte wie zum Beispiel die Elastizität eine große Rolle spielen für die zelluläre Entscheidung: Anhaften oder Nicht-Anhaften. Die Zelle tritt in Kontakt mit der externen Matrix (Abb. 1), nachdem sie deren mechanische Eigenschaften ermittelt hat.

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

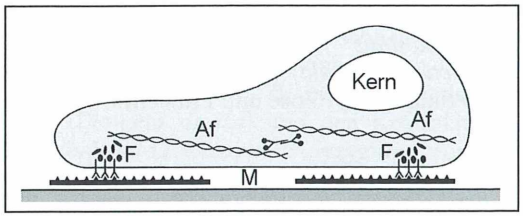


Abb. 1: Schematische Darstellung der Zell-Matrix-Adhäsion auf einem flachen Substrat. Zwei durch Aktinfilamente (Af) verbundene Fokalkontakte (F) im Innern einer Zelle. Die Cluster von Transmembran-Proteinen (Fokalkontakte) binden an die Proteine der extrazellulären Matrix (M). Auf der zytoplasmatischen Seite der Zelle bildet sich ein Aggregat von Proteinen, das an die Aktinfilamente ankoppelt. Darin werden molekulare Kräfte erzeugt, die über die Fokalkontakte auf das Substrat übertragen werden. So werden molekulare Kräfte erzeugt, welche die Adhäsion der Zelle an die Matrix bewirken (nach Schwarz, 2003).

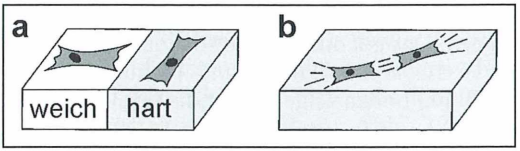


Abb. 2: Zellorientierung auf elastischen Substraten. (a) In einem Substrat mit zwei Gebieten unterschiedlicher elastischer Steifigkeit (links weich, rechts hart) orientieren sich die Zellen senkrecht beziehungsweise parallel zur Grenzlinie zwischen der harten und weichen Seite. (b) In einem homogenen elastischen Substrat ordnen sich die beiden Zellen parallel an, da die von der einen Zelle erzeugte Zugspannung im Substrat die parallele Orientierung der anderen Zelle begünstigt (aus Bischofs und Schwarz, 2004).

Dabei zieht die Zelle gewissermaßen an dem Substrat, ganz gleich, ob es sich um eine andere Zelloberfläche, oder um eine extrazelluläre Matrix handelt. Die bei diesem Kontakt aufgebauten Anheftstellen nennt man Fokalkontakte. Die Struktur der Fokalkontakte hängt von den Eigenschaften der Substrate ab. Bei der Adhäsion werden oft dicke Bündel von Aktinfilamenten gebildet, in denen molekulare Motoren mechanische Zugspannungen erzeugen, die in Fokalkontakten enden.

In den letzten Jahren wurde klar, dass bei der Zelladhäsion auftretende Kräfte und Verformungen eine wichtige Rolle spielen.

Besonders interessant ist natürlich die Frage, wie sich die an den Fokalkontakten gewonnenen Informationen im Zellverhalten umsetzen. Dazu wurde die Umgebungssteifigkeit modifiziert. Zellen bauen ihr Aktinzytoskelett in elastisch steiferen Substraten stärker aus. In einem elastisch anisotropen (mechanisch homogen elastischen) Substrat polarisiert sich die Zelle in der Richtung großer, effektiver Steifigkeit (Abb. 2). Die mechanische Aktivität der einen Zelle triggert die Aktivität der anderen Zelle, sodass ein positives Feed-back entsteht. Die Zelle hat eine Präferenz für maximale effektive Steifigkeit: Das Bestreben, eine bestimmte mechanische Kraft aufzubauen, dabei aber möglichst wenig Energie in die elastische Verformung der Umgebung zu investieren. Das wurde in weichen, dreidimensionalen Systemen wie Kollagengelen getestet (Abb. 2). In einer Zone geringer Steifigkeit, die an eine Zone größerer Steifigkeit grenzt, wird die Zelle senkrecht zur Grenzlinie angeordnet, weil diese Richtung die größere effektive Steifigkeit hat. Auf der anderen Seite der Kontaktlinie ist dies jedoch die Richtung kleinster effektiver Steifigkeit. Die Zelle wird sich um 90° drehen. Wird die Umgebung einer Zelle unter Zugspannung gesetzt, so kommt es zu einer parallelen Ausrichtung mit der Zugrichtung. Für viele Zellen bedeutet das eine kettenförmige Anordnung. Diese Modelle von Schwarz und Mitarbeitern lassen sich experimentell überprüfen. Sie können für die Voraussage des Zellverhaltens in weichen Biochips und in künstlichen Geweben angewendet werden.

Literaturhinweise

Bischofs, I. B., Schwarz, U. S.: Cell organization in soft media due to active mechanosensing. Proceedings of the National Academy of Sciences (USA) *100*, 9274–9279 (2003).

Schwarz, U.: Kräfte und Elastizität in der Zelladhäsion. Max-Planck-Gesellschaft, Jahrbuch 2003.

H. F. Linskens, Nijmegen

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Jahresringchronologie eines Birnbaums

Michael Häusler

Eingeführt wurde die Baum-Jahresringchronologie oder Dendrochronologie von dem Astronomen Andrew Eliott Douglass aus Flagstaff, Arizona. Eigentlich suchte dieser nach einem Zusammenhang zwischen Sonnenaktivität und Klima. Dafür vermaß er die Dicke der Jahresringe an alten Kiefern und trug diese Dicke in ein Diagramm ein. 1929 gelang ihm der Durchbruch, als er die Jahrringmuster archäologischer Fundhölzer in den älteren Abschnitt seines Kalenders einhängen konnte (Douglass, 1941).

Mit heutigen Digitalkameras hat man die Möglichkeit, auf einfache Weise kontinuierlich Baum-Jahresringe über einen größeren Zeitraum aufzunehmen. Als Beispiel hierfür dient die Untersuchung eines etwa 70 Jahre alten Birnbaumastes aus Weilheim bei Waldshut. Der Ast trat an der Nordseite des Stammes etwa 2 m über dem Boden aus und reckte sich mit einem Winkel von circa 60° nach oben. Der elliptische Astquerschnitt besaß an der Austrittsstelle des Astes einen Durchmesser von maximal 22 cm und minimal 20 cm. Der Ast wurde am 1.4.1983 vom Baum entfernt.

Vorgehensweise bei der Aufnahme der Jahresringe

Für die Untersuchung wurde eine Astscheibe plan geschliffen und poliert. Man erkennt in Abbildung 1, dass der Ursprung des Astes etwa in einem der Ellipsenbrennpunkte liegt. Auf der dem Stamm abgewandten Seite sind die Jahresringe ungefähr dreimal weiter als auf der anderen Seite. Die Bildung von Reaktionsholz (Schweingruber, 1983) wirkt stützend, und der Ast beherrscht so besser die auftretenden mechanischen Spannungen. Um die Jahresringe leichter identifizieren zu können, wurde der

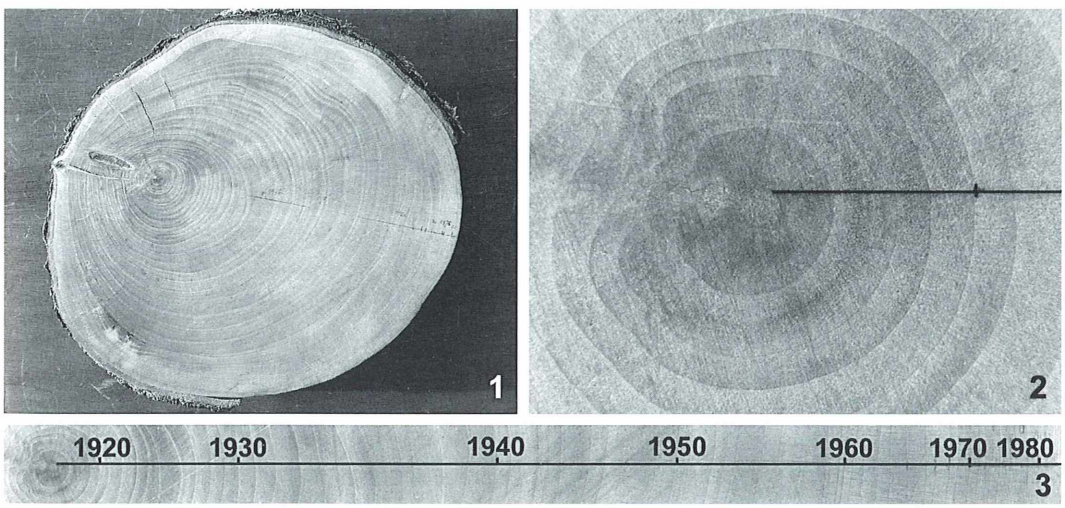


Abb. 1: Astscheibe eines Birnbaums, geschliffen und poliert für die Fotografie der Jahresringe, größter Durchmesser 21,5 cm. – Abb. 2: Einzelbild mit dem Zentrum des Astes, Objektgröße etwa 1,9 x 1,4 cm. – Abb. 3: Jahresringe radial vom Astzentrum (Jahr 1915) bis zum Rand (Jahr 1983) entlang einer Strecke von 16 cm.

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Astquerschnitt auf der vom Stamm weggerichteten Seite untersucht.

Ohne besondere Zusatzeinrichtungen erlaubt die verwendete Kamera (Nikon Coolpix 4500) Aufnahmen in einem Abstand von minimal 2 cm. Bei der für die Aufnahmeserie gewählten Brennweite betrug das Gesichtsfeld ungefähr 1,9 cm in der Länge. Abbildung 2 zeigt als Beispiel das Astzentrum. Die Aufnahmen wurden mit einer Auflösung von 2272 Pixeln × 1704 Pixeln pro Bild gemacht und unkomprimiert im TIFF-Format gespeichert. Im Druck ergibt dies laut Hersteller bei einer Druckauflösung von 300 dpi ein Bild von etwa 19 cm × 14 cm. Man erkennt gut die Markstrahlen, welche etwa eine Breite von 30 µm besitzen.

Insgesamt wurden von der untersuchten Astscheibe 13 Aufnahmen der Jahresringe in radialer Richtung auf einer Strecke von 16 cm gemacht. Dies erlaubte genügend Überlappung der Einzelbilder für ihre Umwandlung zum Beispiel mit dem Arcsoft-Programm Panorama Maker 3.0 in ein einziges Bild. Das Ergebnis ist in Abbildung 3 dargestellt. Um die 13 Bilder korrekt zusammenfügen zu können, wurden alle Bilder mit derselben Brennweite des Objektivs (18,6 mm) und aus exakt dem gleichem Abstand vom Objekt aufgenommen. Erleichtert wurde dies durch die Verwendung der mit Leuchtdioden ausgestatteten Makro-Leuchte des Typs MACRO-COOL-LIGHT SL 1. Diese wird einfach am Filtergewinde des Kameraobjektivs eingeschraubt. Aufnahmen mit konstantem Aufnahmeabstand sind dadurch sichergestellt, dass die Leuchte mit der Kamera direkt auf die plane Oberfläche des Astquerschnittes aufgesetzt wird.

Auswertung

Meistens waren die Jahresringe deutlich ausgeprägt. In einigen Fällen, beispielsweise für 1960, traten allerdings während eines Jahres im Holzaufbau mehrfach Schwankungen der Zellwanddicke auf, möglicherweise bedingt durch kühlere Wetterperioden. Für eine statistisch bessere Auswertung wurde dann die Entwicklung des Jahresringes im gesamten Astumfang verfolgt. Ein Bereich von etwa 2,9 cm ist für den Ring des Jahres 1960 (Abb. 4) dargestellt. Man sieht deutlich, wie die Anomalie des Dickenwachstums bereits in geringer Entfernung von der zunächst untersuchten Stelle verschwindet. Dieses Beispiel zeigt, dass die oft verwendete Methode der Untersuchung eines Holzbohrkerns im Vergleich zur Untersuchung eines Ast- oder Stammquerschnittes fehleranfälliger ist, weil manchmal die eindeutige Zuordnung als Jahresring nicht möglich ist. Die Probleme mit fehlenden oder mehrfachen Jahresringen wurden in der Literatur öfter behandelt (z.B. von Mehringer, 1985). In solchen Fällen müssen mehrere Proben vom gleichen Standort ausgewertet und verglichen werden (Beuting, 2000; Eckstein, 1994).

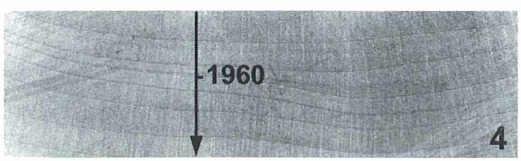


Abb. 4: Jahresringe tangential im Bereich des Ringes 1960 entlang einer Strecke von 2,9 cm. Der Pfeil zeigt in Richtung der Waldkante.

Insgesamt konnten mit der durchgeführten Aufnahmeserie 68 Jahresringe bestimmt werden. Zum Zeitpunkt der Astbildung hatte der Birnbaum vermutlich bereits ein Alter von ungefähr 10 Jahren, war also zum Zeitpunkt der Astentfernung ungefähr 78 Jahre alt. Anfangs ist der Ast kräftig gewachsen, besonders stark im Zeitraum 1932 bis 1940. Danach legte er bis 1945 nur wenig zu. Es folgte eine weitere starke Wuchsperiode bis etwa 1960. Danach, besonders ab 1970, hat der Ast nur noch wenig an Umfang zugenommen.

Literaturhinweise

Beuting, M.: Holzbiologische und dendrochronologische Untersuchungen an Tasteninstrumenten. Diplomarbeit, Universität Hamburg, Fachbereich Biologie (2000).

Douglass, A. E.: Crossdating in dendrochronology. J. For. *39*, 825–831 (1941).

Eckstein, D., Saß, U.: Bohrwiderstandsmessung an Laubbäumen und ihre holzanatomische Interpretation. Holz als Roh- und Werkstoff *52*, 279–286 (1994).

Kremer, B. P.: Der Kalender im Baumstamm. Mikrokosmos *74*, 116–122 (1985).

Mehringer, H.: Jahrringanalytische und holzbiologische Untersuchungen an Saiteninstrumenten. Diplomarbeit, Universität Hamburg, Fachbereich Biologie (1985).

Schödel, S.: Eine Einführung in die Dendrochronologie. Mikrokosmos *89*, 29–32 (2000).

Schweingruber, F. H.: Der Jahrring. Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Verlag Paul Haupt, Stuttgart 1983.

Verfasser: M. Häusler, Kopernikusstr. 1, D-69469 Weinheim

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Mikro-Kids

Es brennt!

Lutz Hartmann

Wenn man diesen Ruf hört, sollte man eigentlich so schnell wie möglich davonlaufen und, falls noch nicht geschehen, die Feuerwehr rufen. Aber wer meinen Artikel über *Die Zähne des Löwen* in einer der vorherigen MIKROKOSMOS-Ausgaben gelesen hat, wird wahrscheinlich schon wissen, dass es manchmal Wörter gibt, die auch andere Bedeutungen haben. Die Zähne des Löwen bedrohten uns natürlich nicht in Wirklichkeit, gemeint waren die Blätter des Löwenzahns, die nur ein ähnliches Aussehen aufweisen.

Wo brennt es aber nun? Wir sind alle schon mal durch eine Wiese oder den Park gestreift. Irgendwann passierte es. Es brannte ganz fürchterlich auf der Haut. Wir hatten die Bekanntschaft mit einer Pflanze gemacht, deren Name bereits auf ihre recht unangenehme Eigenschaft hinweist: Es ist die Brennnessel.

Die Brennnessel ist eine Pflanze, die wir von Frühjahr bis Herbst fast überall bei uns finden. Im Garten will man sie lieber nicht sehen, denn wer will sich schon gern freiwillig verbrennen. Aber da sind wir auch schon mittendrin bei der Frage, ob man sich daran wirklich verbrennt. Nein, natürlich nicht, verbrennen kann man sich nur durch Heißes oder am Feuer. Die Pflanze muss also irgendetwas an sich haben, was zur Rötung der Haut und diesem unangenehmen Gefühl führt.

Pflanzen machen nichts zum Spaß

Zuvor sollten wir uns aber fragen, warum Pflanzen überhaupt bestimmte Eigenschaften haben. Da könnten wir vielleicht nun denken, dass Blumen duften, weil uns das so gefällt. Oder die Brennnessel brennt, weil sie uns ärgern will!

Nein, nein, so läuft das nicht in der Natur. Pflanzen und Tiere haben ein vorrangiges Ziel, sie wollen überleben, und dazu haben sich dann mit der Zeit bestimmte Mechanismen entwickelt, mit denen es ihnen beispielsweise gelingt, ihre Feinde von sich fernzuhalten.

Disteln machen das mit ihren Dornen, andere Pflanzen verströmen einen Duft, der uns vielleicht angenehm erscheint, aber längst nicht allen Tieren gefällt. Die machen nämlich manchmal gerade einen großen Bogen um diese Pflanze. Andererseits können andere Tiere gerade wieder von diesem Duft angezogen werden. Bienen zum Beispiel, die dann zur Verbreitung der Blütenpollen beitragen.

Kommen wir aber zu unserer Brennnessel zurück. Sie will durch ihre unangenehme Eigenschaft, wie man sich leicht denken kann, andere abschrecken, um nicht gefressen zu werden. Das scheint ihr gut zu gelingen, denn wir sehen sie bei uns fast überall.

Wir untersuchen eine Brennnessel

Die Brennnessel, so haben wir oft bei unserer ersten Bekanntschaft mit ihr leider am eigenen Leibe erfahren, muss etwas können, was auf den ersten Blick nicht so leicht zu erkennen ist. Denn sie sieht im Prinzip wie viele andere Pflanzen auch aus: Sie hat eine Wurzel, Stängel, Blätter und sie hat Blüten. Und doch muss irgendetwas das Brennen verursachen. Aber was bloß?

Das sollten wir herausfinden. Und womit könnte man das besser machen als mit unserem Mikroskop.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

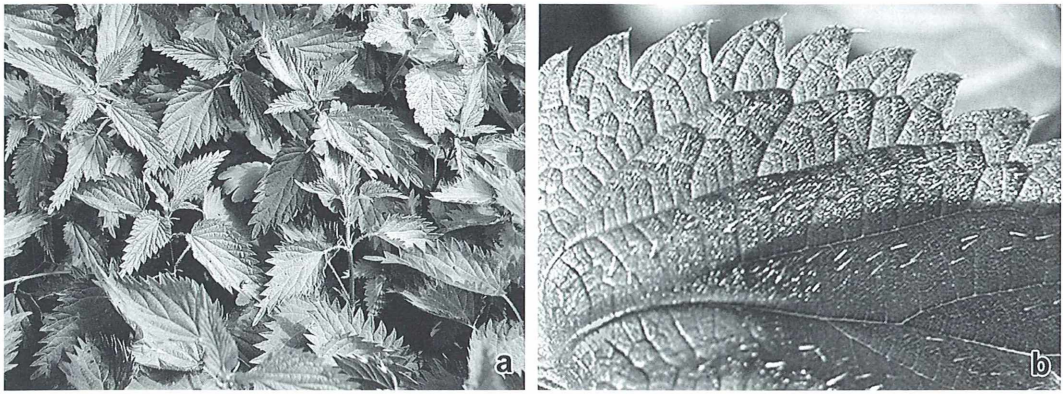


Abb. 1: a Brennnesselpflanzen, b Brennnesselblatt mit Brennhaaren (Fotos: Peter Adam, Berlin).

Bevor wir mit unserer Detektivarbeit beginnen, müssen wir uns erstmal eine Pflanze besorgen. Das ist nun wirklich nicht schwer, denn wie schon gesagt, sie wachsen fast überall, leider auch bei uns im Garten. Wir nehmen eine Schere und schneiden einen Stängel mit Blättern vorsichtig mit einer Schere ab. Hierzu fassen wir die Pflanze unten mit einem Papiertaschentuch an, dann sind unsere Finger geschützt. Am besten tragen wir sie jetzt so nach Hause. Warum wir sie nicht einfach in einen Beutel stecken sollten, werden wir später noch feststellen.

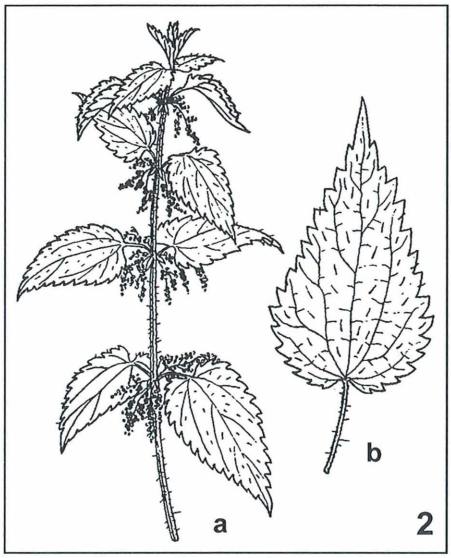
Die Brennnessel unter der Lupe oder dem Stereomikroskop

Bevor wir uns die Pflanze oder einzelne Pflanzenteile unter dem Mikroskop betrachten, wollen wir sie uns zunächst mal oberflächlich mit einer Lupe oder besser noch mit einem Stereomikroskop betrachten.
Am Stängel sehen wir viele kleine Haare, hin und wieder sind dort auch etwas längere Haare zu erkennen. Diesen Unterschied muss man sich also später unter dem Mikroskop noch genauer ansehen. Als nächstes betrachten wir ein Blatt, das wir mit der Schere vorsichtig abgeschnitten haben. Mit einer Pinzette können wir es, ohne uns zu verbrennen, von allen Seiten betrachten. Aha! Auf der Oberseite des Blattes erkennen wir wieder diese etwas längeren Haare, meist entlang der Blattadern. Jetzt drehen wir das Blatt um. An der Blattunterseite sind aber noch viel mehr dieser Haare. Unter dem Stereomikroskop kann man mit einer Präpariernadel mal eine der Spitzen berühren, die dann sofort abbricht. Deswegen sollte man die Pflanze nicht so einfach beim Sammeln in einen Beutel stecken. Wir hätten sie beschädigen können.
Das müssen wir uns alles näher ansehen, und es scheint jetzt wohl der richtige Zeitpunkt gekommen, die Untersuchung mit dem Mikroskop fortzusetzen.

Detektivarbeit mit dem Mikroskop

Was wir jetzt machen, ist nicht ganz ungefährlich, daher mein dringender Rat: Lasst euch einfach mal von den Eltern helfen, falls es doch zu gefährlich wird. Lieber einmal helfen lassen, als nachher mit einem Verband rumlaufen. Es bleibt noch genug zu tun übrig.
Wir müssen nämlich jetzt eines dieser Haare oder auch mehrere von der Pflanze entfernen. Hierzu nimmt man eine Rasierklinge und schneidet von der Blattunterseite, parallel zur Blattader, mehrere davon ab. Diese kleben meist an der Rasierklinge. Wenn wir die jetzt einfach mit einer Pinzette auf den Objektträger bringen würden, wäre die Gefahr sehr groß sie zu beschädigen. Wir hatten ja bereits unter dem Stereomikroskop gesehen, wie schnell die Spitze abbricht.
Wir nehmen daher einen kleinen sauberen Haarpinsel, so wie man ihn auch in der Schule für kleinere Dinge beim Tuschen verwendet. Der wird leicht mit Wasser angefeuchtet. Damit kann man jetzt sehr leicht die Brennnesselhaare aufnehmen und auf einen Objektträger übertragen. Es sollten aber auch nicht zu viele sein, jedes einzelne Haar sollte noch zu sehen sein. Dann wird noch ein kleiner Tropfen Wasser mit einer Pipette draufgegeben. Jetzt ergreifen wir

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/



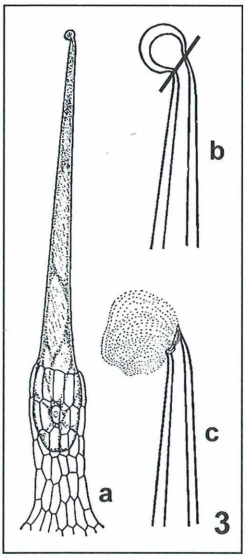


Abb. 2: Große Brennnessel (*Urtica dioica*); a Pflanze, b einzelnes Blatt (nach Rothmaler). – Abb. 3: Brennhaar der Großen Brennnessel; a das einzellige Brennhaar sitzt in einer Art Becher aus benachbarten Zellen; b an der Spitze des verkieselten Brennhaares gibt es eine dünne Stelle, an der das Köpfchen leicht abbricht; c der das Brennen verursachende Zellinhalt tritt aus dem abgebrochenen Köpfchen aus (nach Strasburger).

mit einer Pinzette ein Deckgläschen. Mit dessen vier Ecken kratzen wir etwas Vaseline ab, sodass unser Deckgläschen an den Ecken kleine Füße hat, aber wirklich nicht zu viel, denn so dick sind die Brennnesselhaare nun auch wieder nicht. Mit der Pinzette legen wir jetzt das Deckglas vorsichtig auf unsere Brennnesselhaare so auf, dass keine Luftbläschen eingeschlossen werden.

Wie immer beginnen wir mit der kleinsten Vergrößerung, das ist meist das 4er oder 5er Objektiv. Wir stellen unser Objekt scharf ein, und jetzt muss doch wohl endlich zu klären sein, warum die Brennnessel brennt.

Es fällt zunächst auf, dass das Haar aus drei Bereichen besteht. Der untere Teil ist dicker, fast wie ein kleines Fass, dann folgt das Haar, das unter dem Mikroskop doch mehr wie ein Stachel aussieht. An der Spitze sieht man, wenn man ganz genau hinschaut, ein kleines Köpfchen. Bei manchen Haaren sieht man es leider nicht immer, da sie unterschiedlich liegen können. Daher konnte man ruhig mehrere davon auf den Objektträger bringen. Eines liegt dann meist so, dass man auch das Köpfchen sehen kann.

Womit piekst die Brennnessel?

Wenn wir mit den Fingern diese Haare berühren oder auch ein Tier die Pflanze fressen will, bricht das Köpfchen ab. Denn der Teil unter dem Köpfchen ist sehr spröde und bricht fast von allein ab. In der Technik bezeichnet man dies als Sollbruchstelle, das heißt, es soll nur dort eine Bruchstelle entstehen. Das konnten wir schon bei der Berührung mit einer Präpariernadel sehen. Es entsteht eine sehr scharfkantige Spitze, wie bei der Nadel einer Spritze, wie wir sie vom Arzt kennen. Diese Spitze ritzt nun die Haut ein.

Am unteren Teil des Haares hatten wir bereits einen kleinen Behälter (die Verdickung) ausmachen können. Und hierin befindet sich tatsächlich eine Flüssigkeit, die unter anderem Histamin enthält, welches für die Entzündung und Bildung von Hautquaddeln verantwortlich ist. Durch die Berührung des Haares wird es gebogen und drückt gegen diesen kleinen Behälter. Hierdurch wird das Histamin, wie wir jetzt wissen, durch das Brennnesselhaar gepresst, das man in der Botanik als Brennhaar bezeichnet. Dieses Brennhaar ist nämlich innen hohl, genauso wie bei einer Spritze. Zudem ist dieses Brennhaar recht fest, sodass es sich nicht so leicht verbiegen kann. Das Histamin kann nun an der Spitze des Brennhaares in die Haut eindringen, wo es dann das Brennen verursacht. Der Körper leitet dann jedoch eine Gegenreaktion ein, wodurch das Brennen langsam nachlässt. Also unangenehm das Ganze, aber nicht wirklich gefährlich.

Man kann sich aber leicht vorstellen, dass ein Schaf nach einer Berührung mit der Zunge anschließend ein Leben lang einen Riesenbogen

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

um diese Pflanze macht. Die Brennnessel hält sich mit ihren Brennhaaren also viele Feinde vom Leibe. Tiere mit einem Fell brauchen sie jedoch ansonsten nicht zu fürchten, genauso wenig wie wir, wenn wir lange Hosen anhaben.
Ach, halt, eines habe ich beinahe vergessen. Als wir uns anfangs mal einen Stängel der Brennnessel ansahen, hatten wir dort ja noch viele kleine Haare ausmachen können. Brennen die eigentlich auch?
Das können wir jetzt ganz schnell feststellen. Wir müssen uns nur einige dieser Haare abschneiden, wie auch schon die längeren Brennhaare, gleiches Verfahren also. Und siehe da, allen diesen Haaren fehlt ein Köpfchen und auch die untere Verdickung, wie wir sie gerade beobachten konnten. Das heißt, diese Haare sind für uns nicht gefährlich. Sie enthalten kein Histamin und führen nicht zu diesem unangenehmen Brennen. Die dienen einfach dazu, um Käfer und andere kleine Insekten davon abzuhalten, am Stängel hoch zu krabbeln. Denn diese dichten Haare sind für diese Tiere ein undurchdringlicher Dschungel.

Was man ergänzend lesen könnte:

Kremer, B. P.: Mikroskopieren leicht gemacht. Franck-Kosmos Verlags-GmbH, Stuttgart 1996.
Dietle, H.: Das Mikroskop in der Schule. Kosmos-Franck'sche Verlagshandlung, Stuttgart 1976.

Verfasser: Lutz Hartmann, Brandtstr. 8, D-13467 Berlin

Buchbesprechungen

Jakobi, R. A., Hopf, H.: Humoristische Chemie. Heiteres aus dem Wissenschaftsalltag.
Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2004, 273 Seiten, 33 Abbildungen, 2 Tabellen, broschiert, € 24,90,
ISBN 3-527-30628-5.

Muss Wissenschaft exakt und objektiv aber leider staubtrocken und langweilig sein? Nein, muss sie nicht! Die beiden Herausgeber R. A. Jakobi und H. Hopf haben in dieser Sammlung amüsanter Anekdoten ein Buch zusammengestellt, das den Ernst der Lage in 16 Kapiteln durch den Kakao zieht. Der überwiegende Anteil der Beiträge stammt aus Publikationen einschlägiger Fachjournale wie der Kolumne *April, April* in den *Blauen Blättern* oder der *Letzten Seite* der *Zeitschrift der Chemischen Gesellschaft* der DDR. Missverständnisse im wissenschaftlichen Dialog, der Kampf mit Geldgebern für die Forschung, Prüfungssituationen, der Sinn universitäter Reformen und Verwaltungsvorschriften und der Kampf mit der Datenverarbeitung sind nur einige der dokumentierten Auseinandersetzungen mit dem Wahnsinn des Chemie-Alltags und seinen spaßigen Blüten. Der Inhalt dieses Buches bringt nicht nur Chemiker zum Schmunzeln, auch wenn sich Einiges dem Insider leichter erschließt. Ein bisschen schade ist, dass ein oberflächliches Durchblättern aufgrund des kleinen Schrifttyps und eher knappen Abbildungen wenig zum Kauf anregt.

Renate Radek, Berlin

**Ulfig, N.:
Kurzlehrbuch Histologie.**
Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2003, 264 Seiten, Softcover, € 17,95, ISBN 3-13-135571-9.

Dieses ist ein weiteres Lehrbuch zur Histologie. Es hat sich zum primären Ziel gesetzt, das gesamte für Medizinstudenten prüfungsrelevante Wissen zum Physikum hinsichtlich der Fächer Histologie und Zytologie zu vermitteln und den Inhalt am für besagte Prüfung aktuellen Gegenstandskatalog aufzubereiten. Das soll nun aber nicht heißen, dass es für einen anderen als den explizit angesprochenen Leserkreis nicht geeignet ist. Im Gegenteil! Wegen der didaktisch klugen Aufbereitung des Stoffes, der neben eindrücklichen Original-Mikrofotografien mit Hilfe von eingängigen Schemata die Sachverhalte vermittelt, ist das Buch für jeden, der an der Histologie (des Menschen) interessiert ist, eine – nicht zu kostenintensive – Informationsquelle.

Wilhelm Wagner, Essen

Müller, W. A. (unter Mitarbeit von S. Frings): Tier- und Humanphysiologie, 2. Auflage.
Springer Verlag, Heidelberg 2004, 577 Seiten, 634 Abbildungen, 14 Tabellen, gebunden, € 29,95, ISBN 3-540-01215-x.

Es ist erfreulich, mitteilen zu können, dass wegen des großen Erfolges nach relativ kurzer Zeit eine zweite, revidierte und aktualisierte Auflage des Lehrbuchs von Werner A. Müller verfügbar ist, in der auch verschiedenste Hinweise und Anregungen von Studenten sowie Dozenten Eingang gefunden haben. Dieses Buch dürfte somit langfristig seine Position im deutsprachigen Lehrbuchangebot zur animalischen Physiologie festgemacht haben.

Thomas Gross, Heidelberg

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Halloween im Mikrokosmos?

Mikroskopische Untersuchungen an der Kürbispflanze

Friedrich Thormann

Halloween (Kurzform für All Hallow Even = der Abend vor Allerheiligen = 31. Oktober) – ein ursprünglich keltisch-angelsächsisches Fest zur Feier von Winter- und Jahresanfang, das mit Feuern, Opfern, Maskeraden unter anderem Geister, Hexen und Dämonen vertreiben sollte, ist mit irischen Einwanderern in den USA üblich geworden. Es ist dort ein sehr populäres Fest speziell mit Kindermaskeraden (Kürbiskopf, Abb. 1) und Partys (z.B. mit Kürbiskuchen); neuerdings finden auch in Deutschland am Vorabend von Allerheiligen Halloween-Kinderumzüge statt.

Wie so viele Nutzpflanzen kommt auch der Kürbis (*Cucurbita*) aus Südamerika. Er wurde von Christoph Columbus durch die Entdeckung Amerikas 1492 nach Europa gebracht und verbreitete sich in wenigen Jahrzehnten in ganz Süd- und Mitteleuropa. Die Kürbisse spielten in der Frühgeschichte der Menschen eine große Rolle – sie waren neben Mais und Bohnen die wichtigsten Nutzpflanzen der Azteken. Vor allem die öl- und eiweißreichen Kerne waren sehr begehrt. Die Inkas stellten aus der ausgehöhlten Frucht Trinkgefäße und Schalen her.

Es gibt wohl an die 800 Arten von Kürbissen, so dass sich hier eine Aufzählung verbietet. Durch Züchtung sind die seltsamsten Formen, Größen und Farbschattierungen entstanden, die man im Herbst, hauptsächlich zur Dekoration, auf den Märkten oder auf dem Land kaufen kann – auch war ursprünglich das Fruchtfleisch bitter und die Kürbiskerne hatten eine Schale.

Kürbisanatomie

Die Kürbispflanze hat einen fünfkantigen hohlen Stängel, der mit Haaren bedeckt ist; er kann sich nicht aufrichten. Er liegt entweder am Boden oder klettert mit Hilfe von Ranken an fremden Gegenständen empor. Die Ranken entspringen neben den Blättern, schwingen im Kreis, umschlingen die Stütze und ziehen sich dann korkenzieherartig zusammen und damit die Pflanze hoch. Die großen herzförmigen Blätter haben einen unregelmäßig gezackten Rand und stehen in einer Schraubenlinie um den Stängel. Aus den Blattwinkeln erheben sich auf Stielen die großen, gelben, einhäusigen Blüten; das heißt, dass beide Geschlechter an einer Pflanze zu finden sind. Die männlichen Blüten haben einen sehr langen Stiel, die weibliche Kürbisblüte ist hingegen kurzstielig und hat einen kugeligen, unterständigen Fruchtknoten. Der Griffel mit seiner drei- bis fünflappigen Narbe ist sehr lang. Letztere scheidet viel Nektar aus und lockt daher Bienen und Hummeln an.

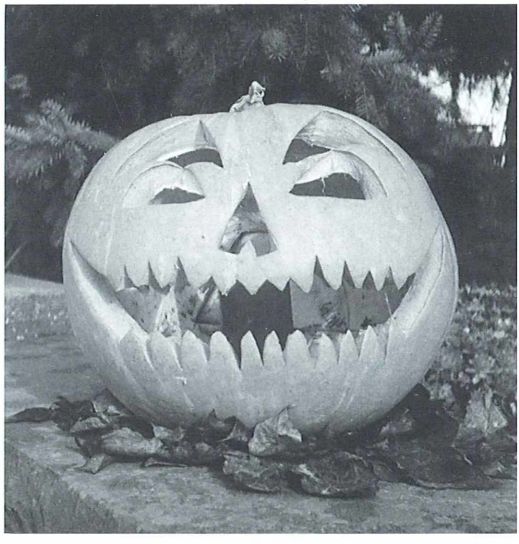


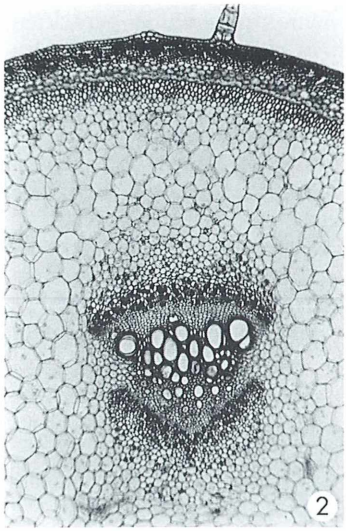
Abb. 1: Ausgehöhlter Kürbis für Halloween.

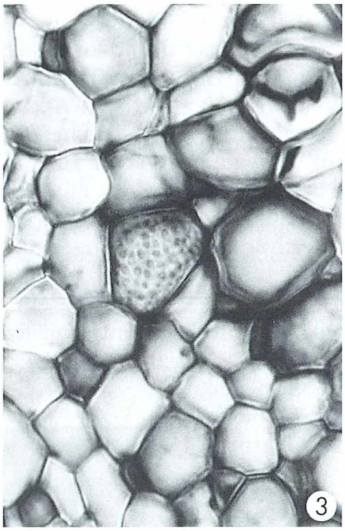
© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Kürbismorphologie

Die mikroskopische Untersuchung der einzelnen Pflanzenteile ist sehr interessant und durch die einfache Beschaffbarkeit auch unproblematisch. Die meisten Mikroskopiker kennen sicher einen Stängelquerschnitt (Abb. 2) – in keinem botanischen Lehrbuch wird auf ihn wegen der guten Darstellung der bikollateralen Leitbündel verzichtet. Bei stärkerer Vergrößerung sind auch die Siebplatten und die kleineren, dunkel gefärbten Geleitzellen zu sehen (Abb. 3). Die Anordnung der Siebplatten ist im Längsschnitt (Abb. 4) besonders deutlich. Hier ist links von den Siebplatten das Xylem (Holzteil), rechts davon das Phloem mit Übergang zum Markparenchym des Stängels. Auf dem Querschnitt sieht man oben die Epidermis und darunter ein Kantenkollenchym und daran anschließend das großzellige Rindengewebe. Was an den Stängelrändern besonders auffällt, sind die vielen unterschiedlich geformten Haare (Abb. 5–10). In Kunststoff eingebettet, lassen sie sich dünn schneiden und anschließend beobachten beziehungsweise fotografieren. Die Haare sind mehrzellig. In ihnen lässt sich an Frischmaterial recht gut die Plasmaströmung erkennen.

Nun zu den Blättern: Sie haben auf der Unterseite besonders starke Blattadern (Abb. 11). Der Blattaufbau entspricht dem bekannten Schema (Abb. 12) – von oben her eine einreihige Epidermis, darunter zwei Reihen Palisadenzellen, dann das so genannte Schwammpa-





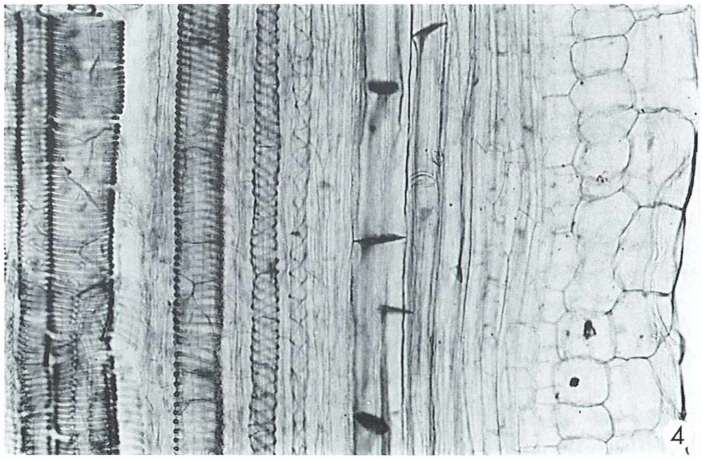


Abb. 2: Stängel quer, Vergr. 50fach. – Abb. 3: Stängel quer mit Siebplatte und Geleitzellen, Vergr. 600fach. – Abb. 4: Stängel längs, links Xylem, mittig Siebröhren, rechts Markparenchym, Vergr. 200fach.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www

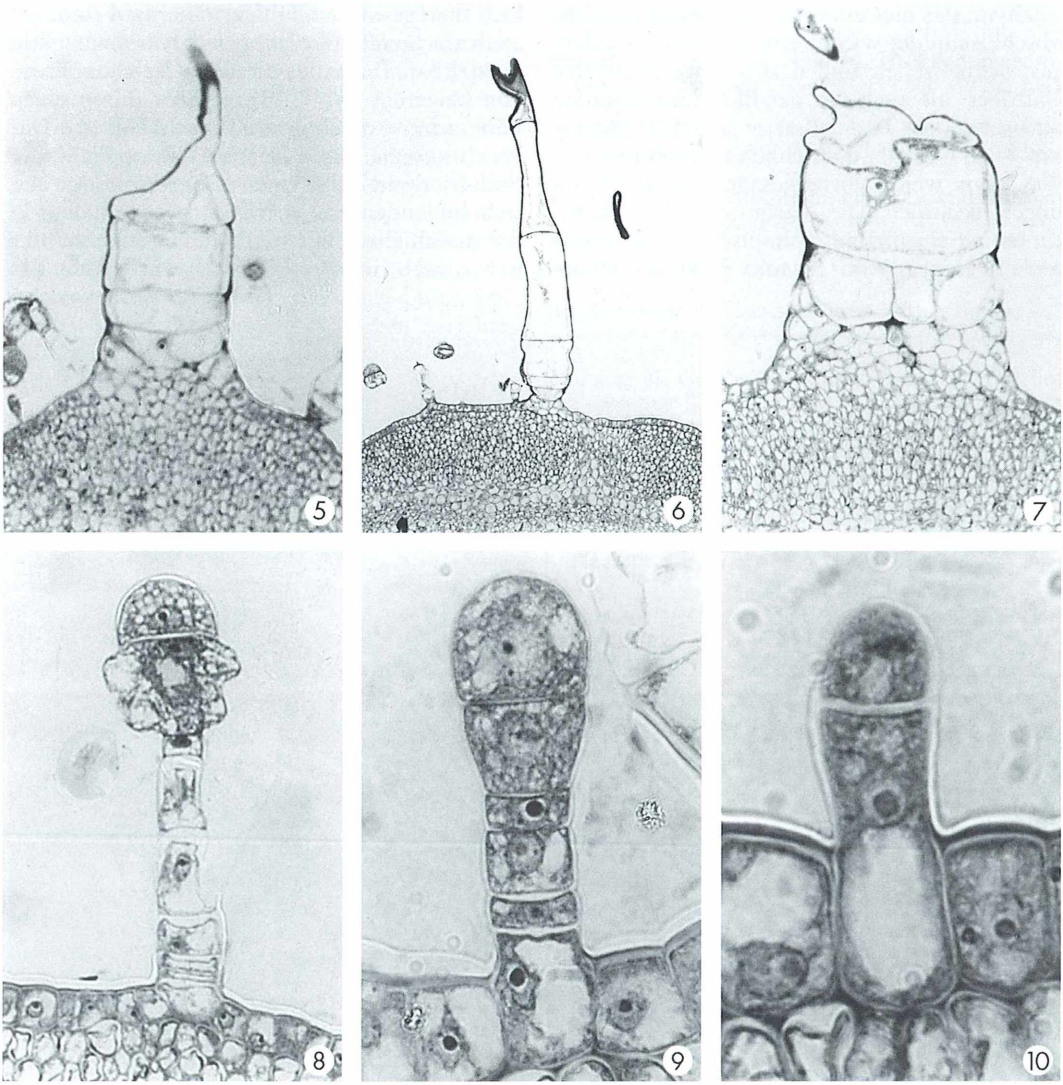


Abb. 5–10: Stängelhaare unterschiedlicher Form, Vergr. 50- bis 100fach.

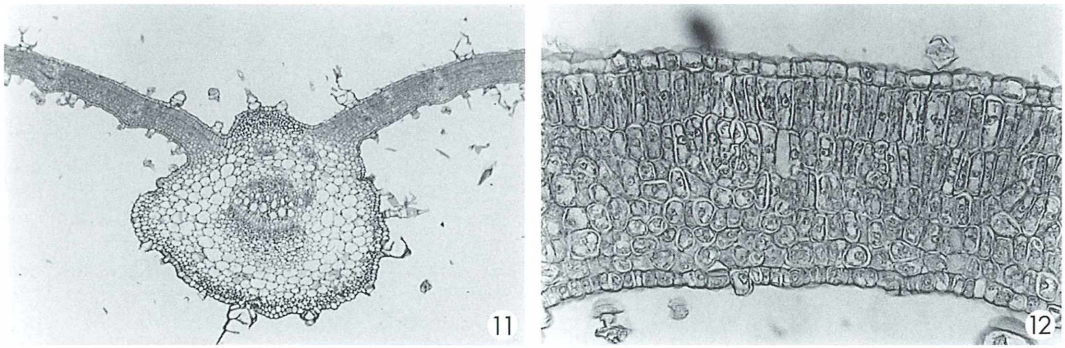
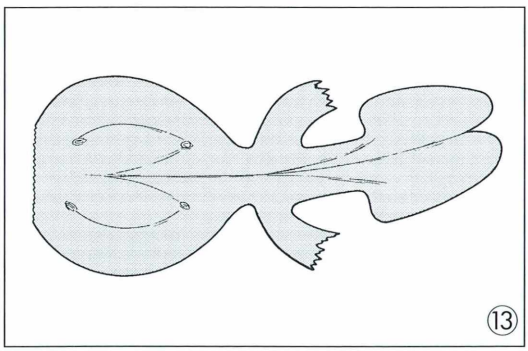
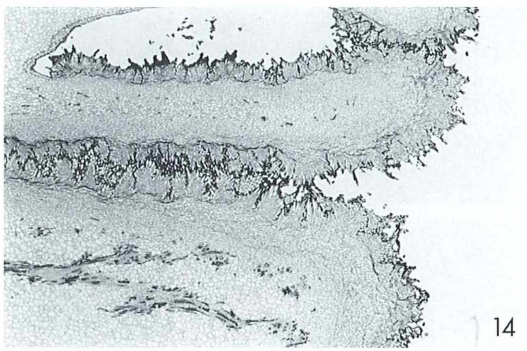


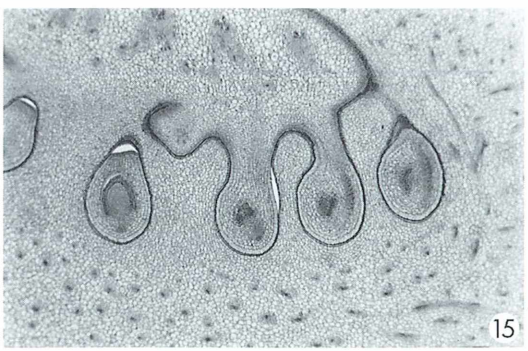
Abb. 11: Blattader quer, Vergr. 50fach. – Abb. 12: Blatt quer, Vergr. 400fach.

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

renchym, das hier allerdings sehr dicht ist. Den Abschluss bildet wieder eine einreihige Epidermis. Schließzellen finden sich sowohl auf der Blattober- als auch auf der Blattunterseite. Sie sind sehr klein und teilweise schlecht erkennbar. Auch hier gibt es reichlich Pflanzenhaare.
Wie schon weiter vorne gesagt sind die Blüten eingeschlechtlich. Die Narbe mit dem Fruchtknoten ist ein für mikroskopische Verhältnisse gewaltiges Präparat. Es füllt in seiner Länge fast den gesamten Objektträger aus und ist auch im Stereomikroskop nicht in einem Bild darstellbar. Daher ist hier eine Zeichnung davon beigefügt (Abb. 13), ergänzt durch einen Längsschnitt der Narbenspitze (Abb. 14). Der Fruchtknoten (Abb. 15) ist dreilappig – der Bildausschnitt zeigt einen dieser Teile mit den sich bildenden Samen (Kürbiskernen). Die in der männlichen Blüte enthaltenen Staubblätter haben auch eine Dreiteilung (Abb. 16). Um das







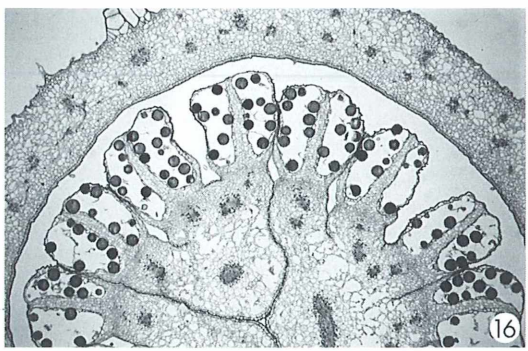
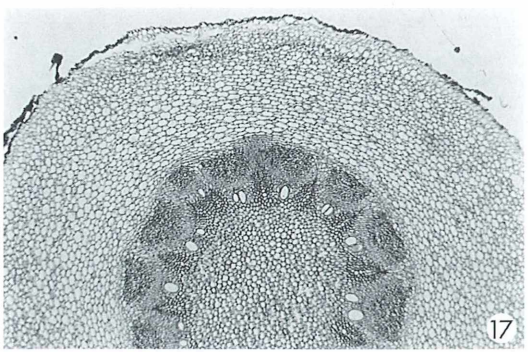


Abb. 13: Narbe mit Fruchtknoten, Vergr. 2fach. – Abb. 14: Narbe längs, Vergr. 50fach. – Abb. 15: Frucht quer, Vergr. 50fach. – Abb. 16: Staubblatt quer, Vergr. 25fach.



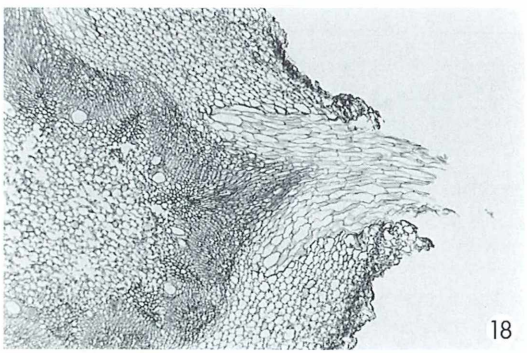


Abb. 17: Wurzel quer, Vergr. 25fach. – Abb. 18: Wurzel mit Seitenwurzelabzweig, Vergr. 50fach.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Zentrum herum sitzen die Staubbeutel mit den Pollenkörnern. Bei stärkerer Vergrößerung sieht man, dass deren Oberfläche mit Stacheln besetzt ist.
Bleibt noch ein Blick auf die Wurzel (Abb. 17). Das Mark in der Mitte ist von einem Leitbündelring umgeben, in dem großlumige Zellen auffallen. In der mir zur Verfügung stehenden Literatur war über deren Funktion leider nichts zu finden. Es folgt dann eine dicke Schicht von Rindenzellen und außen eine ganz dünne Epidermis. Den Abschluss dieses kurzen Berichtes bildet eine Aufnahme, die den Abzweig einer Seitenwurzel zeigt (Abb. 18).

Dank

Mein besonderer Dank gilt Herrn Ernst Woessner von der Mikroskopischen Gesellschaft Zürich (MGZ), der mir einige Präparate zur Verfügung stellte. Es handelt sich um H. Geidis-Präparate *Elemente der Pflanzen-Anatomie*, Serie 73, Nr. 2 und 3. Die Abbildungen 2, 3 und 4 sind von diesen Präparaten angefertigt worden.

Literaturhinweise

Braune, W., Leman, A., Taubert, H.: Pflanzenanatomisches Praktikum I. Gustav Fischer Verlag, Jena 1991.
Gerlach, D., Lieder, J.: Taschenatlas der Pflanzenanatomie. Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart 1979.
Jurzitza, G.: Ein altbekanntes Objekt genau besehen: Der Kürbisstengel. Mikrokosmos 72, 1–4 (1983).
Kremer, B. P.: Das große Kosmos-Buch der Mikroskopie. Franckh-Kosmos-Verlags-GmbH & Co., Stuttgart 2002.
Michalowski, P.: Plastische Rekonstruktion der Basiszelle eines Kürbishaares. Mikrokosmos 67, 33–36 (1978).
Nultsch, W., Grahle, A.: Mikroskopisch-Botanisches Praktikum. Thieme Verlag, Stuttgart 1983.
Schorr, E.: Pflanzen unter dem Mikroskop. Metzler'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1991.
Strasburger, E., Noll, F., Schenck, H., Schimper, A. F. M.: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen, neubearbeitet von Sitte, P., Ziegler, H., Ehrendorfer, F., Bresinsky, A., 33. Auflage. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1991.

Verfasser: Dipl. Ing. Friedrich Thormann, Prof. Dr. Dölger Straße 36, D-63834 Sulzbach/Main,
e-mail: friedrich.thormann@web.de

Nachricht

Ausstellung „So leben und überleben Mikro-Organismen"

Sommerzeit – Reisezeit. Vielleicht kommt der ein oder andere MIKROKOSMOS-Leser in seinen Sommerferien am Sankt Gotthard-Pass vorbei und hat so die Gelegenheit, eine vielversprechend klingende Ausstellung im Museum Forte auf dem Gotthard Hospiz zu besuchen. Der den MIKROKOSMOS-Lesern bekannte Biologe und Mikrofotograf Pedro Galliker aus Andermatt in der Schweiz präsentiert dort in seiner Ausstellung *So leben und überleben Mikro-Organismen* großformatige Fotos und Kunststoff-Modelle von Kleinstorganismen (Abb. 1). Die spannende *Jagd nach dem Wasserfloh* kann in einem Videoclip verfolgt werden. Speziell der immerwährende Kampf ums Überleben auch in diesen winzigen Dimensionen hat es dem Künstler angetan: sich durch Transparenz tarnende Krebse, sich mit Nesseln verteidigende Polypen, raffinierte Fluchtmechanismen, Ausbildung sperriger Fortsätze, um nicht mehr gefressen werden zu können, und vieles mehr.
Die Ausstellung ist bis Oktober 2004 geöffnet und kann täglich von 9–18 Uhr besucht werden.

Abb. 1: Modell einer Büschelmücke, gefertigt von Pedro Galliker.

Weitere Hinweise können der Internetseite www.pedrogalliker.ch/aktuell.htm entnommen werden.

Redaktion MIKROKOSMOS

Download von www.elsevier.de/

Buchbesprechung

Klapp, E., Opitz von Boberfeld, W.: Gräserbestimmungsschlüssel für die häufigsten Grünland- und Rasengräser, 5. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 2004, 84 Seiten, 100 Abbildungen, broschiert, € 12,90, ISBN 3-8001-4498-0, und
Klapp, E., Opitz von Boberfeld, W.: Kräuterbestimmungsschlüssel für die häufigsten Grünland- und Rasenkräuter, 4. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 2004, 127 Seiten, 265 Abbildungen, broschiert, € 14,90, ISBN 3-8001-4497-2.

Die beiden seit langem bewährten Bestimmungsschlüssel sind wieder verfügbar, nachdem sie korrigiert und neu bearbeitet wurden. Es sollte kein Problem sein, mit Hilfe dieser reichhaltig bebilderten Bestimmungshilfen die Determination entsprechender Pflanzen vorzunehmen. Dabei erleichtert das jeweilige Randregister eine erste Zuordnung. Bei den Kräutern wäre es wünschenswert, dass – wie bei den Gräsern geschehen – der Habitus der jeweiligen Pflanze im Bild gezeigt würde, da sich, wie in der aktuellen Auflage realisiert, eine erste Gruppenzuordnung primär über die Blattmorphologie möglicherweise doch als etwas problematisch erweisen könnte.
Abgesehen davon können die beiden auf Grund ihres Taschenbuchformates für die Feldarbeit besonders geeigneten Bestimmungsschlüssel dem jeweils Interessierten nachdrücklich empfohlen werden.

Wilhelm Wagner, Essen

Aus den Arbeitsgemeinschaften

Mikroskopische Gesellschaft Wien

Programm
September bis Dezember 2004

07.09.: Mikroprojektion – Besprechung von Präparaten, Kurzvorträge, Berichte
14.09.: Anton Losert: Präparationsabend (Histologie)
15.09.: Mikroskopietag 2004 bei Univ.-Doz. Dr. F. K. Rudzicka in Engelhardstetten 30, Beginn 9:45 Uhr (Vorträge)
21.09.: Dr. Karl Brantner: Präparationsabend (Botanik)
28.09.: Vinzenz Ondrak: Der Diamant der Industrie
05.10.: Herbert Palme und Peter Pavlicek: Präparationsabend (Granit)
12.10.: Herbert Palme und Peter Pavlicek: Präparationsabend (Fortsetzung: Granit)
19.10.: Dr. Susanne Steinböck: Mit der Eisenbahn quer durch Asien (mit Dias)
05. bis 07.11.: 10. Internationale Mikroskopie-Tage in Hagen
09.11.: Univ.-Lektor Dr. Ing. Wilhelm Bauer: Reise in den Norden – Norwegen und Finnland (mit Videofilm)
16.11.: Friedrich Wertl: Präparationsabend (Botanik)
23.11.: Alfred Schultes: Mikro-Dias-Abend
30.11.: Prof. Peter Schulz: Präparationsabend (Botanik)
07.12.: OStR. Prof. Erich Steiner: Präparationsabend (mikropaläontologisches Material)
14.12.: Weihnachtsfeier

Anmerkung: Die MGW bietet gegen Porto- und Versandspesenersatz Lebendmaterial *(Euglena viridis* und *Paramecium caudatum)* an. Lieferzeit circa vier Wochen nach Bestellung.

Alle Vorträge und Kurse finden in den Räumen der Gesellschaft in Wien, Marinelligasse 10a an Dienstagen statt und beginnen um 19.15 Uhr. Gäste sind willkommen.

Kontaktadresse: OStR. Prof. Erich Steiner, A-1120 Wien, Aßmayergasse 11/6; Tel./Fax: 01/813 84 46.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Mikro-Markt

Mikro-Markt Online
Zum Kombipreis (Print + Online)
Anzeigenpreis plus 50% Online-Aufschlag
Nähere Infos unter
www.elsevier.de
oder Tel.: 03641/62 64 48

Anzeigenschluß für die nächste Ausgabe (6/2004): 17.09.2004
Preise für Mikro-Markt-Anzeigen (je mm bei 68 mm Spaltenbreite):

Privat	EUR	1,80	Vorzugspreis für Abonnenten der Zeitschrift		
Geschäftlich	EUR	2,60	(nur Privatanzeigen)	EUR	1,30
Chiffregebühr	EUR	7,50	Preise zzgl. gesetzlicher MwSt.		

Senden Sie Ihren Anzeigenauftrag an:
Elsevier GmbH, Anzeigenleitung: Postfach 10 05 37, D-07705 Jena
Tel.: 0 36 41/62 64 48 · Fax: 0 36 41/62 64 21 · E-Mail: e.baier@elsevier.com

Mikroskop. Präparate aus Zoologie und Botanik **in bester Qualität direkt vom Hersteller**. Liste anfordern, (Rückporto von EUR 1,12 in Briefmarken). Labor für mikroskop. Technik. Volker Neureuther, Brentanostr. 7a, 85055 Ingolstadt, Tel.: 08 41/5 43 98, Fax: 08 41/5 68.

Verkaufe: Mikrokosmos-Hefte, Jahrgänge 1970-2000. Tel. 0 71 59/4 30 46.

Verkaufe:
MIKROKOSMOS Jahrgänge 1922-1944 gebunden sowie Jahrgänge1986-2000 ungebunden; SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT, vollständig von der Erst-Edition (1978) bis Jahrgang 2003 an Selbstabholer. Angebote an Dr. Erich Lüthje, Kruppallee 13, 24146 Kiel, Tel. 04 31/78 30 13.

Zeiss Standard 16, grau, 5-Fach-Rev., gr. Kreuzt., Bino-Tubus, Fotowechsler („Schaltwürfel") 3 opt. Ausgänge, Lampenhaus 12 V/ 30 W, Regeltrafo 12 V/ 100 W, Rev.-Kondensor Aplan. VZ/ 1,4 + 0,9, Hellf./ DF/ Ph 2, PH 3, Kondensor Hellf. 0,9/Klappl., Zeiss-Obj. Achr. 10/0,22, A-Plan 20/0,45/Ph 2, Plan-Achr. 40/065/ph 2, Plan-Achr. 100/1,25/Ph 3/Öl, Achr. 100/1,25/Öl, Olympus-Achr. 4/0,10, LOMO-Apo. 70/1,23/W, Ok.-Paar CPL W 10/18 Br., Mehrere Okul. u. Projektive, Balgengerät umgeb. zu Foto-Tubus Nur kompl., Festpr. Euro 950,- zzgl. Porto, Tel.: 0 99 53/5 27.

www.mikroskopier-bedarf.de
online-shop für Mikroskopiker

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

AUGEN BLICK

Vererbte Netzhaut-Degeneration:
Makula-Degeneration, Retinitis pigmentosa, Usher-Syndrom, Alters-Makula-Degeneration...jeder 40. in Deutschland.
Restsehen und Erblindung sind immer noch die bitteren Folgen.
Hinnehmen? Nein. Handeln? Ja.
PRO RETINA arbeitet aktiv als anerkannte Selbsthilfegruppe: Praktische Lebenshilfe - von der Kindheit bis ins Alter. Gezielte Unterstützung sinnvoller Forschung.

LICHT INS DUNKEL. PRO RETINA.
...UND SIE:

Konto-Nr. 54 800-605, BLZ 500 100 60, Postgirokonto Frankfurt.
PRO RETINA Deutschland e.V., Vaalser Str. 108, 52074 Aachen

FLÜGEL • KÖHN STUTTGART

Impressum
Herausgeber: Prof. Dr. Klaus Hausmann, Institut für Biologie/Zoologie, Freie Universität Berlin, Königin-Luise-Straße 1–3, 14195 Berlin, Telefon: +49(0)30/83 85 64 75, Telefax: +49(0)30/83 85 64 77, E-Mail: hausmann@zedat.fu-berlin.de; Redaktionsassistentin: Dr. Renate Radek, Institut für Biologie/Zoologie, Freie Universität Berlin, Königin-Luise-Str. 1–3, 14195 Berlin, Tel.: +49(0)30/83 85 63 73, E-Mail: rradek@zedat.fu-berlin.de
Verlag: Elsevier GmbH, Niederlassung Jena, Postfach 10 05 37, 07705 Jena, Deutschland.
Tel.: +49(0)36 41/62 63, Fax: +49(0)36 41/62 65 00, E-Mail: journals@elsevier.com
Anzeigenleitung: Elsevier GmbH, Niederlassung Jena, Deutschland, Ansprechpartner: Erika Baier, Löbdergraben 14a, 07743 Jena. Tel: +49(0)36 41/62 64 48, Fax: +49(0)36 41/62 64 21; E-Mail: e.baier@elsevier.com
Anzeigenannahme und -verwaltung: Media-Service Tischler GmbH, Postfach 30 17 70, 10747 Berlin, Telefon: +49(0)30/801 10 17, Fax: +49(0)30/801 66 61, E-Mail: media-service@fimengruppe-tischler.de
Anzeigenpreise: Gültig ist die Preisliste vom 1. Januar 2004.
Lieferkonditionen (2004): Band 93 (1 Band mit 6 Ausgaben)
Abopreise* (2004):

Land	Bandpreis	Vorzugspreis für Schüler, Azubis und Studenten	Einzelheft
D, A, CH#	72,00 EUR	45,00 EUR	15,00 EUR

Deutschland, Österreich, Schweiz

*Die Preisangaben sind unverbindliche Preisempfehlungen. Preisänderungen müssen wir uns vorbehalten. Alle Preise verstehen sich inklusive Versandkosten und exklusive Umsatzsteuer. Bei der Rechnungsstellung wird Umsatzsteuer gemäß der zum Rechnungszeitraum geltenden Richtlinien erhoben. Versand per Luftpost ist möglich, Preise auf Anfrage. Kunden in den EU-Ländern werden gebeten ihre Umsatzsteuernummer anzugeben.
Der Verlag behält sich das Recht vor, Zusatzbände im Abonnementzeitraum zu publizieren. Erscheinende Supplement-Bände zu einzelnen Zeitschriften sind in den genannten Preisen enthalten.
Kündigung von Abonnements: Abonnements laufen jeweils für ein Kalenderjahr und werden unbefristet bis auf Widerruf verlängert, falls nicht bis zum 31. Oktober des Jahres gekündigt wird.
Abonnements: Bitte richten Sie ihre Bestellung an Elsevier GmbH, Niederlassung Jena, Aboservice/Vertrieb, Postfach 10 05 37, 07705 Jena, Deutschland. Tel: +49(0)36 41/62 64 47, Fax: +49(0)36 41/62 64 43, E-Mail: k.ernst@elsevier.com
Bankverbindung: Deutsche Bank Jena, Kontonummer 390 7656 00 (BLZ 820 700 00); IBAN: DE76 8207 0000 0390 7656 00; BIC/SWIFT: DEUTDE8E
Postbank Leipzig, Kontonummer 0 149 249 903 (BLZ 860 100 90); IBAN: DE48 8601 0090 0149 2499 03; BIC/SWIFT: PBNKDEFF
Bitte geben Sie bei der Zahlung ihre vollständigen Daten an.
Copyright: Alle Artikel, die in dieser Zeitschrift veröffentlicht werden, sind urheberrechtlich geschützt, alle Rechte vorbehalten. Ohne schriftliche Erlaubnis des Verlages ist es verboten, Teile der Zeitschrift in irgendeiner Form zu reproduzieren. Dies beinhaltet ebenso die Digitalisierung, als auch jede andere Form der elektronischen Weiterverarbeitung, wie Speichern, Kopieren, Drucken oder elektronische Weiterleitung des digitalisierten Materials aus dieser Zeitschrift (online oder offline).
Für den allgemeinen Vertrieb von Kopien für Anzeigen- und Werbezwecke, für die Neuzusammenstellung von Sammelbänden, für den Wiederverkauf und andere Recherchen muss eine schriftliche Erlaubnis vom Verlag eingeholt werden.
Satzstudio: SatzReproService GmbH Jena, Talstraße 84, 07743 Jena.
Druck/Bindung: Gulde-Druck GmbH, Hechinger Str. 264, 72072 Tübingen.
(∞) Seit Band 85, Ausgabe 1 (1996) erfüllt das Papier, das für diese Zeitschrift genutzt wurde, die Anforderungen von ANSI/NISO Z39.48-1992 (Beständigkeit von Papier).

Hergestellt in Deutschland
Alle Rechte vorbehalten.

© Elsevier GmbH

Für weitere Informationen gehen Sie bitte auf unsere Website http://www.elsevier.de/mikrokosmos

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Hinweise für Autoren

1. Der MIKROKOSMOS veröffentlicht Aufsätze, Übersichtsbeiträge, Kurzmitteilungen, Hinweise auf interessante neue Arbeitsverfahren oder Präparationsanleitungen sowie technische Innovationen aus allen Teilbereichen der Mikroskopie.

2. Die Redaktion bittet, Manuskripte grundsätzlich nur auf einseitig beschriebenen, fortlaufend nummerierten DIN A4-Bögen einzureichen. Jede Manuskriptseite sollte mit doppeltem Zeilenabstand beschrieben werden. Der Text sollte durch Zwischenüberschriften untergliedert werden. Am Ende des Manuskriptes steht die vollständige Autorenadresse. Soweit möglich sollten die Manuskripte zusätzlich zur Hardcopy als 3,5″-Diskette (kein Macintosh) ohne Formatierung als Word-Dokument eingereicht werden.

3. Tabellen und Bildlegenden (beide jeweils fortlaufend nummerieren) bitte nicht in den Haupttext einbauen, sondern als Anhang auf eigene Manuskriptseiten schreiben. Alle Abbildungen fortlaufend im Text zitieren und Abbildungen gesondert beifügen.

4. Bildvorlagen sind Farbdias (für die sw-Reproduktion) jeglicher Größe, kontrastreiche sw-Fotos sowie druckfertige Strichzeichnungen und Graphiken. Elektronische Abbildungen nur als Tiff-Dateien (300 dpi) auf CD-R (bis 700 MB) einreichen; bitte keine CD-RWs oder DVDs verwenden. Alle Materialien namentlich kennzeichnen. Auf den Originalabbildungen keine Beschriftungen vornehmen, sondern nur auf Kopien oder durchscheinenden Deckblättern. Vergrößerungen von Mikrofotos sollten erst anhand der Bildandrucke berechnet werden, die vor Drucklegung zusammen mit den Korrekturandrucken der Artikel den Autoren zugeschickt werden. Die Bilder werden in drei verschiedenen Breiten (1-spaltig, 1,5-spaltig, 2-spaltig) reproduziert. Es können mehrere Bilder zu Tafeln kombiniert werden.

5. Alle Bildvorlagen bleiben Eigentum des Autors und werden mit den Sonderdrucken des Beitrages wieder zurückgesandt.

6. Literaturzitate bitte in alphabetischer Reihenfolge nach folgendem Schema anordnen:

Zitate von Zeitschriftenbeiträgen:
Kreutz, M., Mayer, Ph.: *Vampyrella* parasitiert *Endorina elegans*. Mikrokosmos 92, 1–6 (2003).

Buchzitate:
Fioroni, P.: Evertebratenlarven des marinen Planktons. Verlag Natur und Wissenschaft, Solingen 1998.

Zitate von Buchbeiträgen:
Hausmann, K., Hülsmann, N.: Einzellige Eukaryota, Einzeller. In: Westheide, W., Rieger, R. (Hrsg.): Einzeller und Wirbellose Tiere, S. 1–72. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1996.

7. Jeder Autor erhält von seinem Beitrag vor dem Druck einen Andruck zum Gegenlesen. Korrekturen müssen sich auf Satzfehler beschränken. Umfangreiche Textnachträge oder Umstellungen sind aus Kostengründen nicht möglich.

8. Jeder Autor erhält von seiner im MIKROKOSMOS veröffentlichten Arbeit kostenlos 25 Sonderdrucke.

9. Der Verlag honoriert jede Druckseite mit € 30,00 und Farbmikrofotos, die auf der Titelseite erscheinen, mit € 60,00.

10. Manuskripte bitte einsenden an
Prof. Dr. Klaus Hausmann
Redaktion MIKROKOSMOS
Institut für Biologie/Zoologie
der Freien Universität Berlin
Königin-Luise-Straße 1–3
14195 Berlin

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

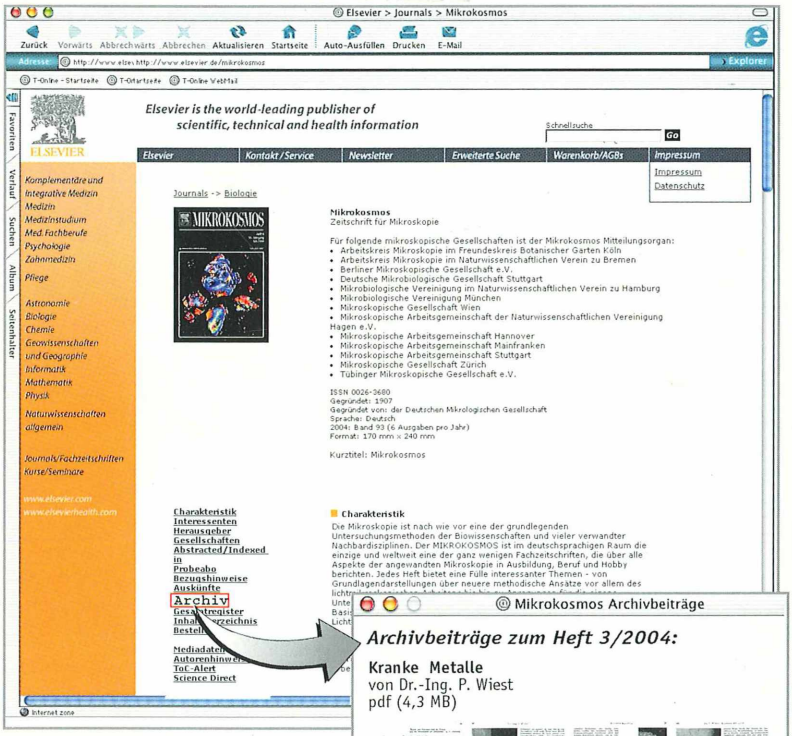
Mikrokosmos
5/2004

510543
Bibliothek des OÖ.
Landesmuseums

Museumstraße 14
4020 Linz

1 (6)

300229 Mikrokosmos



Nutzen Sie den Archiv-Link und erforschen Sie die Highlights aus fast einem Jahrhundert Publikationsgeschichte:

www.elsevier.de

www.elsevier.de/mikrokosmos

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mikrokosmos, Zeitschrift für Mikroskopie

Jahr/Year: 2004

Band/Volume: 93_5

Autor(en)/Author(s):

Artikel/Article: Mikrokosmos 93_5 1