II-90372/99,3

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

ELSEVIER
URBAN & FISCHER

MIKROKOSMOS

Heft 3
99. Jahrgang
Mai 2010

www.elsevier.de/mikrokosmos

ISSN 0026-3680



MIKROKOSMOS Zeitschrift für Mikroskopie

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

Exemplar für Testzwecke vorbehalten! www.elsevier.de

Mitteilungsorgan für den Arbeitskreis Mikroskopie im Freundeskreis Botanischer Garten Köln, Arbeitskreis Mikroskopie im Naturwissenschaftlichen Verein zu Bremen, Arbeitskreis Rhein-Main-Neckar, Berliner Mikroskopische Gesellschaft e.V., Mikroskopie-Gruppe Bodensee, Mikroskopischer Freundeskreis Göppingen im Naturkundeverein Göppingen e.V., 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

129 Filigraner Beutefänger – Das Sonnentierchen *Actinophrys sol*
Hans-Jürgen Voß

135 Mikroskopische Studien an Exkretionsorganen
Siegfried Hoc

141 Mikroskopische Streifzüge auf Hiddensee
Teil 4: Rotalgen-Aufwuchs
Wolfgang Bettighofer

151 Faszination Magma – Mikroskopie von Feldspatkristallen
Robert Sturm

157 Flughaare von Samen und Früchten und die Textur ihrer Zellwände
Teil 1: Samenhaare
Eberhard Schnepf

163 Ein neues „altes" Kittmittel für die Dünnschliffherstellung
Holger Schimmel

167 Das Mikroskop als Bildungsgegenstand des 18. Jahrhunderts
Jürgen Hartwig Ibs

173 Insekten unter dem Mikroskop
Rudolf Drews

177 Eine automatische Stack-Einrichtung für Mikroskope
Jan-Peter Frahm und Norbert Stapper

181 Die Numerische Apertur – Gut auch für die Bildhelligkeit
Hinrich Husemann

188 Kapselförmige Bakterienkolonien dienen gleichzeitig als Brutstätte und Falle für Nematoden (Rhabditida)
Rolf Michel und Karl-Dieter Müller

Rubriken

133, 140
Buchbesprechungen

134, 149, 166
Nachrichten

150
Mikro-Ufo

156, 172
Micro-Toon

165, 187, 190
Kurze Mitteilung

176
Digitale Medien

180
Mikro-Markt

191
Mikro-Dialoge

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/Scopus/Zoological Records

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

Umschlagabbildung: Die Rotalge *Ceramium tennicorne* mit zahlreichen Aufwuchsorganismen.
Siehe Artikel W. Bettighofer, S. 141–149.

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

Filigraner Beutefänger – Das Sonnentierchen Actinophrys sol

Hans-Jürgen Voß

Die wohl ästhetisch ansprechendsten Protisten im MIKROKOSMOS sind die Sonnentierchen oder Heliozoa, die zu den Sarcodinen (Amöbenartigen) zählen. Diese ungewöhnlich schönen und durchscheinenden Einzeller tragen ihren Namen zu recht: Von einem kugeligen Zellkörper aus strahlen starre und feine Pseudopodien in alle Richtungen. *Actinophrys sol* ist das Sonnentierchen schlechthin und dürfte wohl jedem Mikroskopiker ein Begriff sein.

Actinophrys sol ist in der Natur zwar ganzjährig weit verbreitet, kommt aber nicht immer häufig vor. Im April 2009 fand ich diesen Organismus erstmalig in einem temporären Waldgewässer in der Nähe meines Wohnortes. Sowohl Rainer (1968) als auch Page und Siemensma (1991) geben übereinstimmend an, dass *A. sol* stehende – bisweilen auch temporäre – pflanzenreiche Tümpel und Gräben als Lebensraum bevorzugt. Dort liegen sie bewegungslos am Substrat und im Detritus. Etwas kurioser mutet dagegen der zweite Fundort im darauffolgenden Mai an: Dort konnte ich *A. sol* aus dem Filterrückstand eines neu eingerichteten Warmwasseraquariums isolieren. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass *A. sol* zusammen mit Wasserpflanzen eingeschleppt wurde. Glücklicherweise waren die Individuen so zahlreich vertreten, dass dieser Organismus zusammen mit abgestorbenem Pflanzenmaterialien und anderen Protisten (*Tetrahymena* spec., *Paramecium* spec. und *Colpoda* spec.) in Petrischalen über mehr als zwei Monate hinweg gehalten werden konnte.

Kultur

Zu diesem Zweck wurde in regelmäßigen Abständen das Kulturmedium (Kohlensäure freies Mineralwasser Vittel) erneuert und alle zwei Tage mit dem oben erwähnten „Ciliatenmix" gefüttert. Die Ciliatenrohkultur wurde ebenfalls in Petrischalen mit Vittel, dem ein Reiskorn zur Förderung des Bakterienwachstums zugesetzt wurde, gehalten. Die mikroskopischen Beobachtungen wurden durchweg im Hellfeld mit schiefer Beleuchtung beziehungsweise im Phasenkontrast mit einem 40× Objektiv durchgeführt.

Zellulärer Aufbau

Actinophrys sol besitzt eine kugelige Gestalt mit einem Durchmesser von 20–90 µm. Der Zellkörper ist nackt, das heißt nicht von einer Schleimhülle oder von Skelettelementen (Spicula) umhüllt, was *Actinophrys* von vielen anderen Heliozoen gut unterscheidet. Vom Zellkörper gehen circa 40 strahlenförmig abstehende Pseudopodien aus (Abb. 1), die ein- bis zweifach körperlang sind und weit über die Zelloberfläche hinausragen (Kudryavtsev und Hausmann, 2009; Patterson, 1979). Die Pseudopodien werden bei den Heliozoen Axopodien genannt, da sie durch ein Innenskelett ausgesteift werden. Dieses Innenskelett setzt auf der äußeren Kernmembran an und besteht aus dünnen Proteinröhrchen, den so genannten Mikrotubuli. An Individuen, die durch Deckglasdruck abgeflacht sind, lässt sich dieser Sachverhalt im Phasenkontrast darstellen (Abb. 2). Die Anordnungsmuster der Mikrotubuliröhrchen sind ein Kriterium für die taxonomische Klassifizierung der Actinopoda und damit der Heliozoen (Hausmann et al., 2003).
Das äußere Cytoplasma ist stark vakuolisiert. Der zentral liegende Kern (Nucleus) weist peripher liegende Kernkörperchen (Nucleoli) auf. Die kontraktile Vakuole – selten sind mehrere zu finden – liegt im peripheren Cytoplasma

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

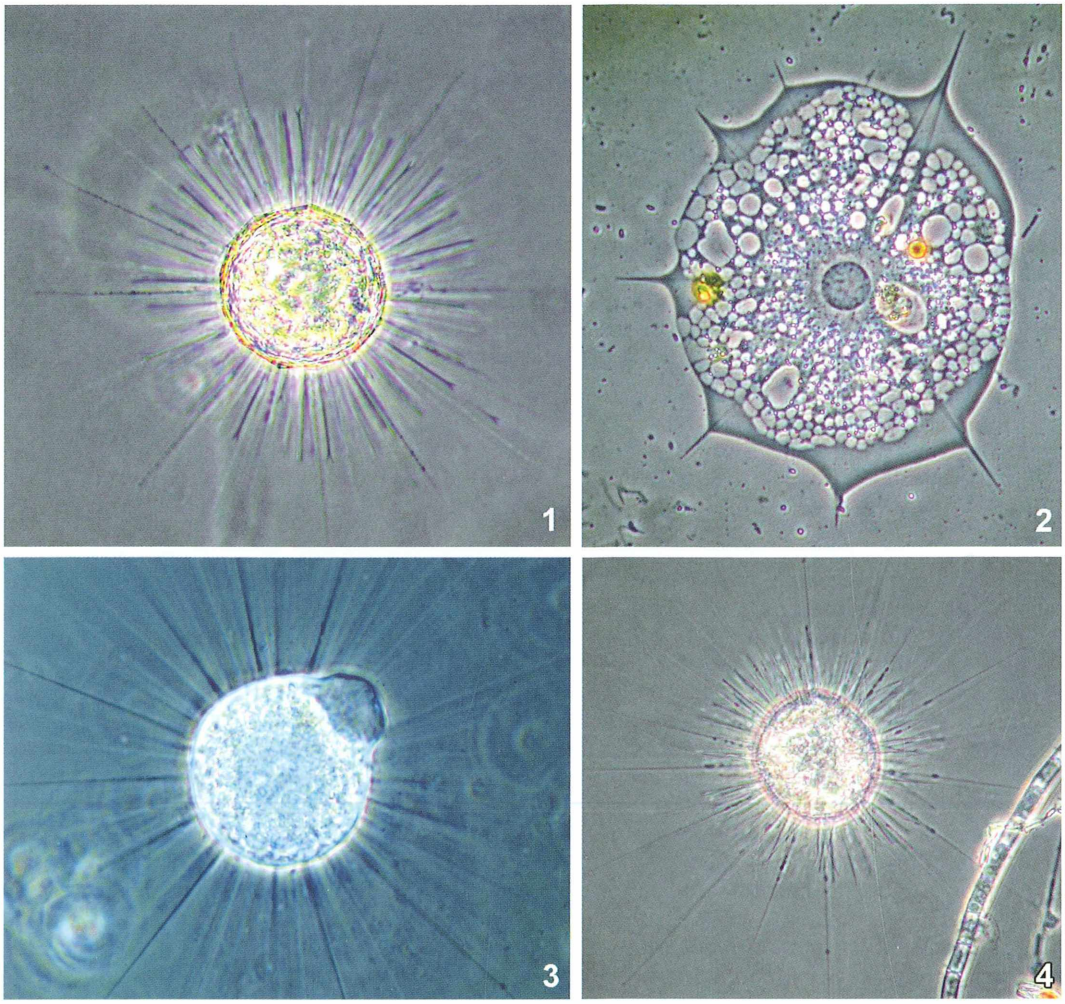


Abb. 1–4: Morphologie von *Actinophrys sol*. – Abb. 1: Habitus (Phasenkontrast). – Abb. 2: Durch Deckglasdruck abgeflachtes Individuum: Das Innenskelett der Axopodien inseriert im Bereich der äußeren Kernmembran. Der Nucleus lässt peripheres Kernmaterial erkennen. – Abb. 3: *Actinophrys sol* mit kontraktiler Vakuole. – Abb. 4: An den Axopodien sind die Extrusomen als Partikel erkennbar.

und ragt im gefüllten Zustand meist deutlich hervor (Abb. 3). *A. sol* kann unter Umständen mit *Actinosphaerium eichhornii* verwechselt werden, denn *A. eichhornii* besitzt ebenfalls kein Außenskelett, ist jedoch stets mehrkernig und meist auch erheblich größer als *A. sol*.

Ständig in Bewegung – Die Extrusomen

Sowohl im Bereich der Axopodien als auch unmittelbar unter der gesamten Zellperipherie befinden sich kleine, stark lichtbrechende Körnchen, die einen Durchmesser von 1–2 µm haben (Abb. 4). Es handelt sich dabei um so genannte Extrusomen. Extrusomen sind Membran umgrenzte Zellstrukturen im Cortikalplasma von Protisten, die ihren Inhalt auf eine bestimmte Reizeinwirkung nach außen hin abgeben können. Die bekanntesten Extrusomen dürften wohl die Spindeltrichocysten von *Paramecium* sein (Hausmann, 1978). Die Extrusomen von *Actinophrys sol* sind in ständiger Bewegung: Mal gleiten sie kontinuierlich und

dann wieder ruckartig unter der Zelloberfläche hin und her. Beim Nahrungserwerb sind diese Zellstrukturen von zentraler Bedeutung!

Beutefang – Geklebt oder vergiftet?

Hauptsächlich ernährt sich *Actinophrys sol* von Protisten (Ciliaten, Flagellaten), kann aber auch gelegentlich kleine Metazoen (Tardigraden, Rotatoria) erbeuten. Für einen Beobachter ist es daher verblüffend, dass es ausgerechnet dieser langsame, „nur" im Wasser schwebende Organismus schafft, schnelle Flagellaten und Ciliaten zu attackieren und anschließend zu phagocytieren. *A. sol* arbeitet dabei nach der Methode eines Lauerjägers. Zufällig vorbeischwimmende und geeignete Beuteorganismen werden mit Hilfe der Axopodien zunächst einmal arretiert, das heißt festgehalten. Dies geschieht, indem der Inhalt der Extrusomen, der viskoser Natur ist, nach außen abgegeben wird

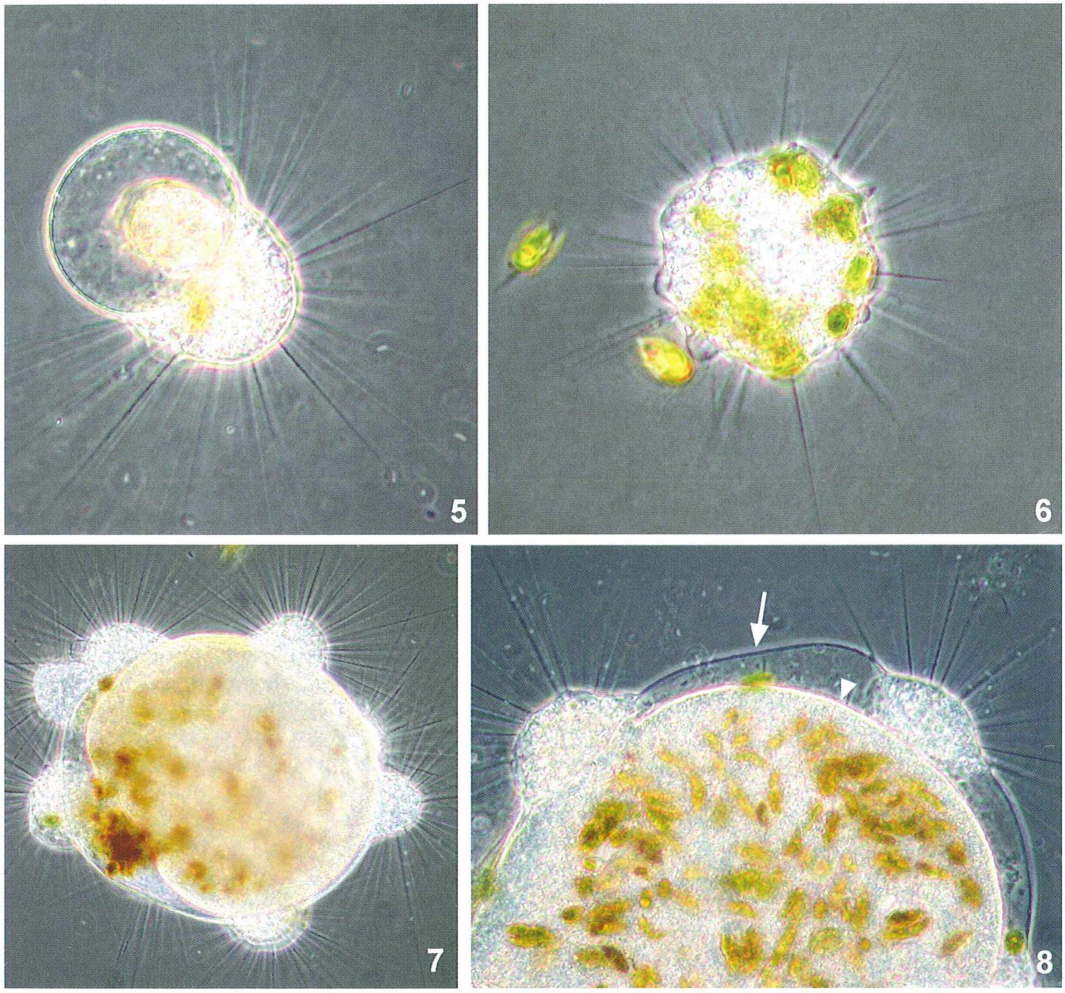


Abb. 5–8: *Actinophry sol* beim Nahrungserwerb. – Abb. 5: Ein erbeutetes *Paramecium* wird in einer großen Nahrungsvakuole eingeschlossen. – Abb. 6: Bei gutem Nahrungsangebot können auch mehrere Nahrungs- bzw. Verdauungsvakuolen ausgebildet werden. – Abb. 7: Mehrere Individuen haben sich zu einer Fressgemeinschaft zusammengeschlossen und eine gemeinsame, große Nahrungsvakuole gebildet. Sie verdauen gerade ein großes Wimpertier der Gattung *Urostyla*. – Abb. 8: Bei stärkerer Vergrößerung lässt sich die Membran der gemeinsamen Nahrungsvakuole (Pfeil) von der des gefangenen Ciliaten (Pfeilkopf) gut abgrenzen.

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

und dadurch das Beutetier an den Axopodien quasi festklebt. Die heute immer noch verbreitete Ansicht, dass nämlich die Extusomen Toxine enthalten, die das Beutetier lähmen, kann durch entsprechende Beobachtungen nur als bedingt richtig angesehen werden. Denn während des gesamten Ablaufs der Ingestion, das heißt bei der Rückbildung der mit der Beute behafteten Axopodien bei gleichzeitiger Ausbildung eines trichterförmigen Fresspseudopodiums, werden meist Gegenreaktionen bei den gefangenen Beutetieren sichtbar. Bisweilen gelingt es ihnen sogar, sich wieder loszureißen. Diese Beobachtungen sprechen eher für einen nichttoxischen Inhalt der Extrusomen. Andererseits kann es aber auch sein, dass der Beschuss mit Extrusomeninhalt so massiv ist, dass ein einzelliger Beuteorganismus sofort lysiert. Dies wiederum spräche für eine toxische Komponente (Linnenbach et al., 1983; Linnenbach und Hausmann, 1985). Aber wahrscheinlich liegt die Wahrheit wohl irgendwo in der Mitte.

Die Nahrungsvakuole bildet sich

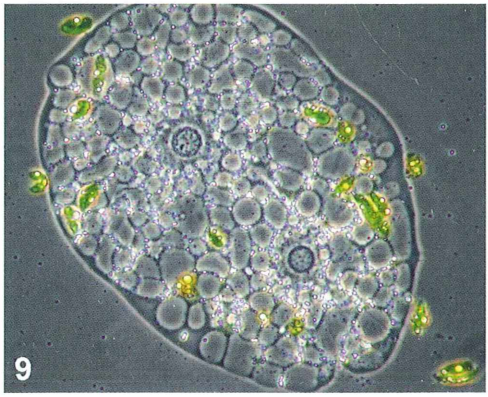
Die Nahrungsvakuole entsteht dadurch, dass ein trichterförmiges Pseudopodium ausgebildet wird, das die Nahrung umfließt und schließlich gänzlich umhüllt (Abb. 5; Patterson und Hausmann, 1981). Diese Beobachtung veranlasste übrigens Ehrenberg (1838) zu der Feststellung, dass *Actinophrys* über einen großen, rundlichen und ausstülpbaren Rüssel verfügt. Die Dauer der Nahrungsaufnahme variiert mit der Größe der Beutetiere. Paramecien und Colpidien werden nach Hausmann und Patterson (1982) innerhalb von 15 Minuten ingestiert. Nach eigenen Beobachtungen mit *Paramecium* als Futterorganismus kann der Vorgang – Präparat mit Deckglas – auch bis zu einer halben Stunde dauern. *A. sol* ist auch in der Lage, bei reichlichem Nahrungsangebot mehrere Beutetiere gleichzeitig zu arretieren und in mehreren getrennten Nahrungsvakuolen zu verdauen, wie Fütterungsversuche mit *Chlorogonium elongatum* zeigten (Abb. 6). Während der Ingestion und auch während der Digestion weist *Actinophry sol* eine erhöhte Aktivität der kontraktilen Vakuole auf, die sich in einem Zeitraum von bis zu einer Minute über die Zelloberfläche kreisförmig abhebt und dann innerhalb von zwei Sekunden kollabiert (Linnenbach und Hausmann, 1985).

Auch beim Beutefang – Einigkeit macht stark!

Stehen *Actinophrys sol* relativ große Beutetiere (>100 µm) zur Verfügung, können mehrere Individuen miteinander fusionieren und dabei mitunter ausgedehnte Fressgemeinschaften bilden. Offenbar wird die Beute in einem solchen Zellaggregat effektiver verdaut. In den von mir etablierten Rohkulturen konnten auch Fressgemeinschaften beobachtet werden. Innerhalb von drei bis vier Tagen beseitigten derartige Zellaggregate eine große Population eines hypotrichen Ciliaten (*Urostyla* spec.) mit einer Zelllänge von etwa 450–550 µm nahezu restlos (Abb. 7 und 8).

Gut genährt ist leicht vermehrt!

Während der Digestion verkleinert sich der Umfang der Nahrungsvakuole kontinuierlich.



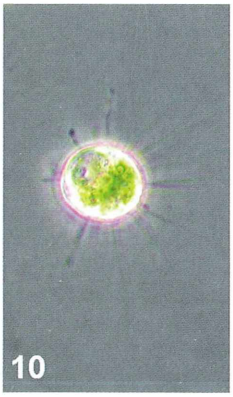


Abb. 9 und 10: *Actinophrys sol*. – Abb. 9: Durch Deckglasdruck sehr stark abgeflachtes Individuum, welches sich gerade in Zweiteilung befindet und bereits zwei Kerne beinhaltet, die granuläre Binnenstrukturen, möglicherweise Chromosomen, erkennen lassen. – Abb. 10: Anfangsphase der Cystenbildung. Die Zelle wird kleiner, Anzahl und Länge der Axopodien werden reduziert.

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

Der Durchmesser der Heliozoenzelle wächst dagegen bis auf circa 60 µm an, während der Durchmesser der Nahrungsvakuole weiterhin rückläufig ist. Nach etwa 12 Stunden ist der Verdauungsprozess beendet. Die ursprüngliche Nahrungsvakuole wird dann zur Defäkationsvakuole und entlässt innerhalb von Sekunden die unverdaulichen Überreste der Beute.

20 Stunden nach dem Fressen können bei *Actinophrys* Vermehrungsvorgänge in Form von Zweiteilungen der Zelle beobachtet werden. Die Kenntnisse über die Zweiteilung von *Actinophrys* reichen zurück bis auf Belar (1923), der diese Vorgänge mit sehr großer Sorgfalt untersucht und dokumentiert hat. Bei sich teilenden Individuen, die durch Deckglasdruck sehr stark gequetscht waren, zeigten die bereits geteilten Kerne im Phasenkontrast noch eine aufgelockerte Binnenstruktur. Möglicherweise handelt es sich dabei um noch nicht vollständig entspiralisierte Chromosomenstrukturen (Abb. 9).

Das Ende naht!

Nach einer intensiven Vermehrungsphase kann *Actinophry sol* encystieren (Streble und Krauter, 2006). Die Axopodien werden eingeschmolzen, der kugelige Zellkörper verringert deutlich seinen Durchmesser und eine dickere Cystenwand lässt sich erkennen (Abb. 10). Cysten haltige Kulturen konnten vielfach durch Überführung der Cysten in frisches Kulturmedium kurze Zeit später wieder zum Leben erweckt werden. Dies gelang in der zweimonatigen Beobachtungszeit dreimal. Danach verabschiedete sich *Actinophrys sol* dauerhaft aus den Kulturgefäßen.

Literaturhinweise

Bélar, K.: Untersuchungen an *Actinophrys sol* Ehrenberg I. Die Morphologie des Formwechsels. Arch. Protistenkd. 46, 1–95 (1923).

Ehrenberg, C. G.: Die Infusionsthierchen als vollkommene Organismen. Voss, Leipzig 1838.

Hausmann, K.: Extrusive organelles in protists. Int. Rev. Cyt. 52, 197–276 (1978).

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

Hausmann, K., Patterson, D. J.: Pseudopod formation and membrane production during prey capture by a heliozoan (Feeding by *Actinophrys*, II). Cell Motil. 2, 9–24 (1982).

Kudryavtsev, A., Hausmann, K.: Axopodien – Starre Schwebeeinrichtungen oder flexible Zellfortsätze? Mikrokosmos 98, 321–327 (2009).

Linnnenbach, M., Hausmann, K.: Beobachtungen zur Nahrungsaufnahme beim Sonnentierchen *Actinophrys sol*. Mikrokosmos 74, 321–325 (1985).

Linnenbach, M., Hausmann, K., Patterson, D. J.: Ultrastructural studies on the food vacuole cycle of a heliozoan (Feeding by *Actinophrys*, III). Protoplasma 115, 43–51 (1983).

Page, F. C., Siemensma, F. J.: Nackte Rhizopoda und Heliozoa. In: Matthes, D. (Hrsg.): Protozoenfauna, Band 2. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1991.

Patterson, D. J.: On the organisation and classification of the protozoon, *Actinophrys sol* Ehrenberg, 1830. Microbios 26, 165–208 (1979).

Patterson, D. J., Hausmann, K.: Feeding by *Actinophrys sol* (Protista, Heliozoa): 1. Light microscopy. Microbios 31, 19–55 (1981).

Rainer, H.: Urtiere, Protozoa, Wurzelfüßler, Rhizopoda, Sonnentierchen, Heliozoa – Systematik und Taxonomie, Biologie, Verbreitung und Ökologie der Arten der Erde. In: Dahl, M., Peus, F. (Hrsg.): Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile nach ihren Merkmalen und nach ihrer Lebensweise, 56. Teil. Gustav Fischer Verlag, Jena 1968.

Streble, H., Krauter, D.: Das Leben im Wassertropfen – Mikroflora und Mikrofauna des Süßwassers. Ein Bestimmungsbuch, 10. Auflage. Kosmos-Verlag, Stuttgart 2006.

Verfasser: Dr. Hans-Jürgen Voß, Am Dornbusch 42, 46244 Bottrop, E-Mail: tichy-voss@t-online.de

Buchbesprechung

Henkel, F. W., Schmidt, W.: Taschenatlas Wirbellose für das Terrarium – 180 Gliederfüßer und Schnecken im Porträt.
Eugen Ulmer, Stuttgart 2010,
192 Seiten,
182 Farbfotografien,
Taschenbuch, € 9,90,
ISBN 978-3-8001-5156-1.

Offenbar erfreuen sich Wirbellose einer stets wachsenden Beliebtheit als Haustiere. Was früher vielleicht eher als abstoßend galt, ist derzeitig angesagt. Damit ergibt sich automatisch die Frage, wie man diese Trend-Kreaturen in einem heimischen Terrarium pflegt. Genau diese Frage beantwortet das vorliegende Buch, indem es für 180 Evertebraten aus den Gruppen der Insekten, Spinnentiere, Krebse und Schnecken nach einer kurzen Charakterisierung die entsprechenden Organismen im Foto darstellt und deren Haltungsanforderungen in Form eingängiger Piktogramme zusammenfasst.

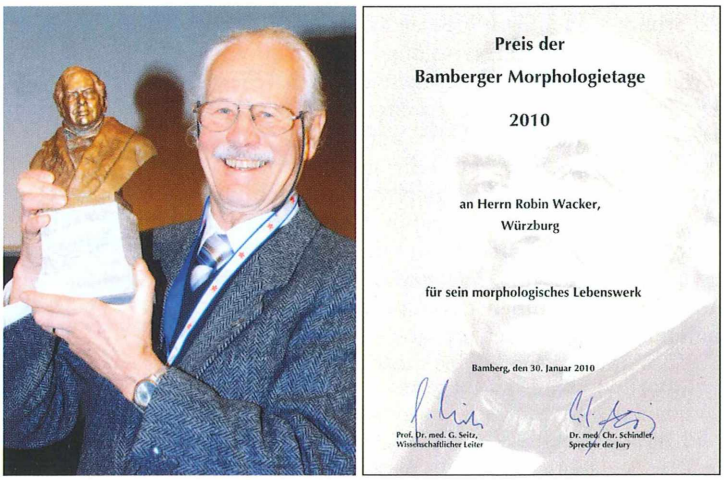
Wilhelm Wagner, Essen

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

Nachricht

12. Bamberger Morphologietage 2010: Robin Wacker für sein Lebenswerk ausgezeichnet

Im Rahmen der diesjährigen *Bamberger Morphologietage*, zu denen sich über 775 Wissenschaftler aus Deutschland, Europa und Übersee eingefunden hatten, wurde Robin Wacker aus Güntersleben, der natürlich allen MIKROKOSMOS-Lesern bestens als herausragender Histologe bekannt ist, vom Bamberger Chefarzt der Pathologie Prof. Dr. med. Gerhard Seitz für sein Lebenswerk mit einer Büste des berühmten Johann Lukas Schönlein (1793–1864) ausgezeichnet (Abb. 1). Prof. Schönlein war seinerzeit ein wichtiger Bamberger Wegbereiter der naturwissenschaftlichen Medizin und hat unter anderem die Perkussion und Auskultation, also das Abklopfen und Abhorchen des Körpers als Routinemethoden in den medizinischen Alltag eingeführt.



Robin Wacker mit der Büste von Johann Lukas Schönlein sowie die Preisurkunde.

Stationen eines Lebens: Genf, Birmingham, Würzburg

Robin Wacker wurde am 2. Mai 1929 in Genf geboren. Im Alter von vier Jahren siedelte er mit seinen Eltern nach England über und wurde dort bald englischer Staatsbürger. Nach der Schulausbildung ging er an das *College of Arts and Crafts* in Birmingham, schloss dort eine Goldschmiedausbildung ab und war in einer Schmuckfirma tätig, bis er für rund zwei Jahre seinen Militärdienst ableisten musste, und zwar hauptsächlich in Deutschland im Rahmen der Berliner Luftbrücke.

Danach arbeitete er wieder in der Schmuckbranche und erwarb ein Diplom für Edelsteinkunde. Es schlossen sich Fortbildungen in den Fachdisziplinen Zoologie, Geologie und Bakteriologie an. Dabei war das Pathologische Institut des Frauenkrankenhauses in Birmingham für acht Jahre seine Arbeitsstätte. Während dieser Zeit bildete er sich weiter und schloss ein siebenjähriges Studium als *Medical Laboratory Scientist* mit Abschlüssen für Histologie/Cytologie sowie Hämatologie/Bluttransfusionen ab.

Nach der Heirat mit seiner deutschen Frau im April 1959 übersiedelte er im Jahr 1963 nach Deutschland und fand ab da bis zu seiner Pensionierung im Jahr 1994 im Pathologischen Institut der Universität Würzburg als Histologe einen Arbeitsplatz, der ihn voll ausfüllte und ihm Bekanntheit weit über die Grenzen Würzburgs hinaus einbrachte.

Was kam danach? Der Rentnerstress!

Natürlich hat Robin Wacker sich mit seiner Pensionierung nicht zur Ruhe gesetzt, sondern stellte weiterhin histologische Schnitte her, betrieb eigene Studien und leitete mikroskopische Kurse, diesmal dann mehr für Schulkinder. Aber auch den Hobbymikroskopikern half er gerne weiter, so beispielsweise durch zahlreiche *Histologische Wochenenden* bei der Berliner Mikroskopischen Gesellschaft und bei vielen anderen Vereinen.

Sein Terminkalender ist seit des Übergangs in das Rentnerdaseins nicht etwa entspannter geworden. Im Gegenteil, möchte man sagen! Firmen wie Olympus, Zeiss und Leitz, aber auch der Lehrstuhl für Physiologische Chemie I der Universität Würzburg warten auf die bekanntermaßen außerordentlich guten Präparate von ihm.

Wenngleich das Alter langsam seinen Tribut fordert, hofft die Mikroskopikergemeinschaft, dass Robin noch oft bei den verschiedenen Treffen mit dabei sein wird und seine reichhaltigen Erfahrungen weitergeben kann.

Redaktion MIKROKOSMOS

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

Mikroskopische Studien an Exkretionsorganen

Siegfried Hoc

Wie Atmung, Nahrungs- und Wasseraufnahme ist auch die Exkretion ein lebenserhaltender Vorgang bei allen Tieren. Bei den Vielzellern fällt diese Aufgabe den Nieren zu. Auch wenn dieses Organ bei allen Tieren und beim Menschen die gleiche Funktion hat, so unterscheidet es sich in seinem anatomischen Bau erheblich. Einblicke in den vielfältigen Bau der Exkretionsorgane ermöglicht das Mikroskop. Über Funktion und Differenzierung der Nieren im zoologischen System soll dieser Beitrag Auskunft geben.

Exkretionsorgane dienen der Elimination von Stoffwechselprodukten, die im Stoffwechsel nutzlos oder schädlich sind, sowie der Regulation des Wasser-, Elektrolyt- und Säure-Basenhaushalt (Osmoregulation). In erster Linie handelt es sich bei den Stoffwechselendprodukten um stickstoffhaltige Substanzen des Eiweißumsatzes. Das ausgeschiedene Wasser wurde entweder mit der Nahrung aufgenommen, entstand bei der intrazellulären „Verbrennung" von Nährstoffen oder ist durch die Körperoberfläche hineindiffundiert, so wie es bei den einzelligen Tieren, den Protozoen geschieht. Exkretionsorgane dienen somit der Aufrechterhaltung des inneren Milieus (Homoiostase).

Bei Protozoen dient die kontraktile Vakuole zur Osmoregulation und nicht, wie vielfach fälschlicherweise zu lesen ist, der Exkretion. Das bekannteste Beispiel hierfür ist das Pantoffeltierchen *Paramecium* (Abb. 1). Den im Meerwasser lebenden Ciliaten fehlt in der Regel eine solche Einrichtung. Manche Süßwasser-Protozoen lassen sich an Meerwasser gewöhnen; dabei stellen die kontraktilen Vakuolen ihre Tätigkeit ein. Werden die Einzeller in Süßwasser zurückgebracht, setzt ihre Funktion wieder ein. Das spricht dafür, dass die kontraktile Vakuole in erster Linie der Regulierung des osmotischen Drucks in der Zelle dient. Exkrete werden bei den Einzellern in der Hauptsache via Zellmembran nach außen abgegeben.

Die Regulation des osmotischen Drucks in den Geweben ist auch bei vielzelligen Tieren (Metazoa) eine wichtige Aufgabe der Exkretionsorgane. Sie regulieren damit das Mengenverhältnis zwischen Wasser, Kolloiden und Salzen

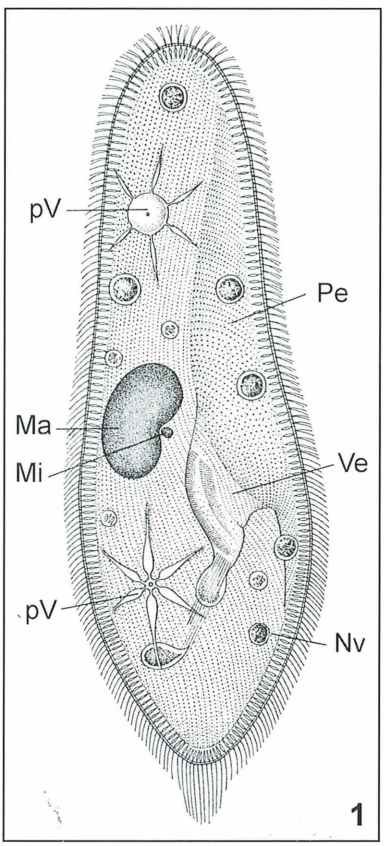


Abb. 1: Zellstrukuren von *Paramecium* sp.; das Kontraktile-Vakuolensystem dient der Osmoregulation und nicht der Exkretion! Ma Makronukleus, Mi Mikronukleus, Nv Nahrungsvakuole, Pe Peristom, pV pulsierende Vakuole, Ve Vestibulum.

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

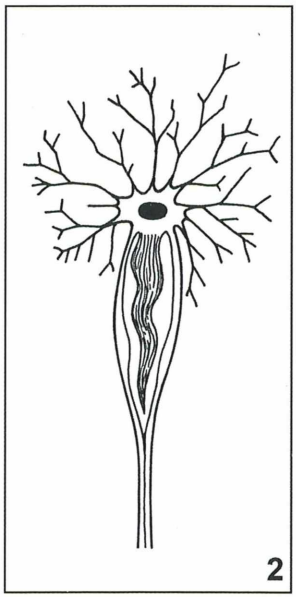
im Körper. Bei homoiotonischen Süßwassertieren, deren Salzkonzentration im Körper höher ist als die des Wassers, diffundiert ständig Wasser in den Körper ein und es muss auch ständig wieder ausgeschieden werden, um die Salzkonzentration in den Körperflüssigkeiten zu erhalten.

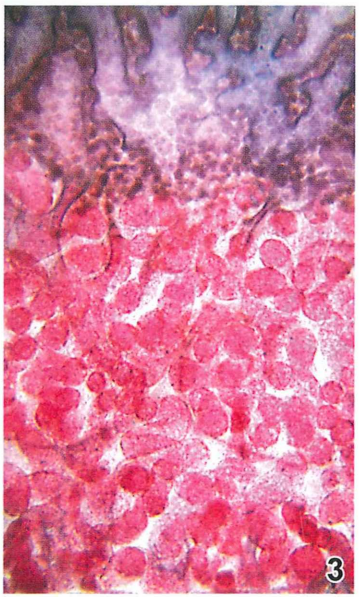
„Diffuse" Exkretion und Protonephridien

Bei den vielzelligen Tieren übernimmt diese Arbeit die Niere. Auch wenn dieses Organ bei allen Tieren und beim Menschen die gleiche Funktion hat, so unterscheidet sie sich in ihrem anatomischen Aufbau erheblich und weist innerhalb des zoologischen Systems und in der Stammesreihe eine Höherdifferenzierung auf.

Der primitivsten Form der Exkretion bedienen sich niedrige Metazoa. Bei ihnen werden die Exkrete durch bestimmte Zellen in gelöster Form abgegeben oder als feste Konkremente in Vakuolen abgelagert und durch Öffnen dieser Vakuolen nach außen entleert. Diese „diffuse Exkretion" über die Körperoberfläche findet sich bei Schwämmen (Porifera) und Hohltieren (Coelenterata). Bei manchen Hydromedusen haben die Radiärkanäle nahe dem Schirmrand einen Porus, der offenbar der Ausscheidung dient. Dazu gehören die Leptomedusen der Gattung *Aequorea*.

Bei den Plattwürmern (Plathelminthes), zu denen unter anderem die parasitischen Saugwürmer und Bandwürmer gerechnet werden, sind bereits primitiv gebaute Ausscheidungsorgane vorhanden. Das gilt auch für die Stachelhäuter (Echinodermata). Die mit Exkreten beladenen Zellen (Athrocyten) wandern aus dem Gewebeverband aus und können beispielsweise in die sekundäre Leibeshöhle (Coelom) gelangen und hier zerfallen. Die frei gewordenen Exkrete können auch durch einfache Nierensysteme, die Protonephridien, aufgenommen und nach außen befördert werden. Oder aber die exkretbeladenen Zellen verlassen den Körper über den Darm oder Hautdrüsen. Protonephridien sind Kanälchen, die blind geschlossen in der Leibeshöhle beginnen und nach außen führen. Das geschlossene Ende des Protonephridiums besteht aus einer „ausgehöhlten" keulenförmigen Zelle, deren vordere Wand von Spalten durchbrochen ist. In der inneren Höhlung wird mit einem Büschel von Geißeln ein Flüssigkeitsstrom erzeugt, welcher die durch die Spalten eingedrungenen flüssigen Exkrete nach außen befördert (Abb. 2). Die einzelnen Kanälchen vereinigen sich und bilden lange Exkretions-





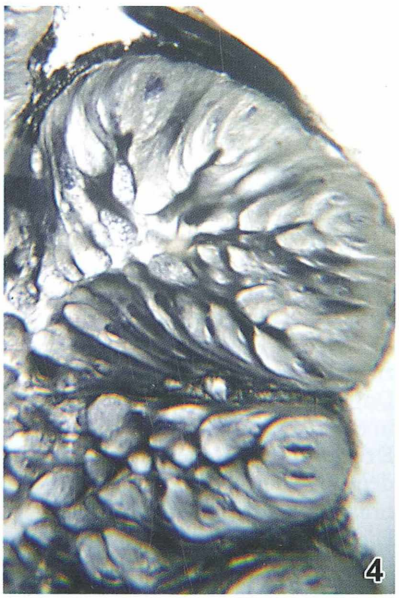


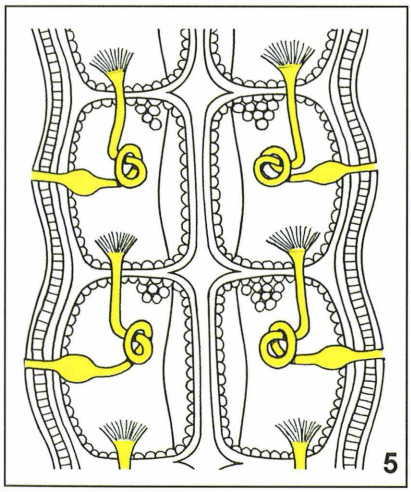
Abb. 2: Protonephridium. – Abb. 3: Protonephridien-System des großen Leberegels *Fasciola hepatica*. Vergrößerung 25fach. – Abb. 4: Fettkörper eines Insektes. Vergrößerung 400fach.

© Elsevier GmbH. Alle

kanäle, die netzartig den ganzen Körper durchziehen (Abb. 3). Solche Protonephridien findet man auch bei embryonalen Stadien der Wirbeltiere.
Bei vielen niederen Tieren werden bestimmte Exkrete auch lebenslang im Körper gespeichert. Ein gutes Beispiel hierfür sind die so genannten Speichernieren. Als solche fungieren die Fettkörper der Insekten neben ihrer wichtigen Funktion als Syntheseorgane für Vorrats- und Vitalstoffe (Abb. 4).

Flimmertrichter und Malpighische Gefäße

Die nach den Protonephridien nächsthöhere Entwicklungsstufe der Ausscheidungsorgane sind die Metanephridien. Es handelt sich um Flimmertrichter, die mit der Leibeshöhle in offener Verbindung stehen. Diesen Typus weisen Ringelwürmer (Annelida), Weichtiere (Mollusca), Armfüßer (Brachiopoda) und auch Wirbeltiere auf, denn ihre Vor- und Urnierenkanälchen sind solche Nephridien.
Bei den Ringelwürmern, zu denen beispielsweise die Regenwürmer gehören, ist der Körper in zahlreiche, weitgehend gleich gebaute Körpersegmente aufgegliedert, wobei sich in regelmäßiger Aufeinanderfolge gewisse Organe wiederholen. Hierzu gehören auch die Nephridien (Abb. 5). Allerdings sind diese stets mit zwei Segmenten verbunden: Der in dem einen Segment liegende Flimmertrichter (Nephrostom), der die Flüssigkeit aufnimmt, durchstößt die anschließende Segmentwand und wächst zu einem Schlauch aus. Die Exkrete verlassen den Körper also im folgenden Körpersegment nach außen.
Bei den Weichtieren bis hinauf zu den Tintenschnecken (Kopffüßer = Cephalopoda) beginnen diese Exkretionsorgane im Perikard (Herzbeutel). Hier liegt der Wimpertrichter, der im so genannten Nierensack mündet. Die gefalteten Wände dieses Nierensackes sind von Blutlakunen durchzogen. Er öffnet sich durch einen Nephroporus oder einem primären Ureter (Harnleiter) in die Mantelhöhle oder er wird wie bei den Lungenschnecken durch einen sekundären Ureter fortgesetzt. Dieser führt dann den Harn bis zum Mantelrand und bis an das Atemloch (Abb. 6). Bei den Weichtieren ist die Leibeshöhle weitgehend rückgebildet. Der einzige Coelomrest ist der Herzbeutel.
Bei den Gliederfüßern (Arthropoda) sind die Exkretionsorgane unterschiedlich hoch entwickelt. Spinnentiere (Arachnida) haben als ursprüngliche Exkretionsorgane Koxaldrüsen, die an der 3. und 5. Extremitätenhüfte münden. Bei den Netze bauenden Spinnen verwerten offenbar die Spinndrüsen einen erheblichen Teil der stickstoffhaltigen Exkrete. Bei Skorpionen, Milben und anderen Spinnentieren vollziehen Malpighische Gefäße die Exkretion. Die Koxaldrüsen sind dann verkümmert. Die paa-



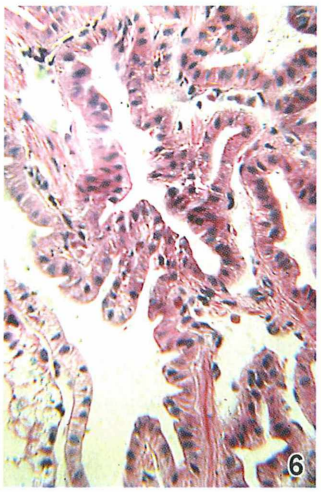




Abb. 5: Metanephridien des Regenwurmes (gelb). – Abb. 6: Niere einer Weinbergschnecke. Vergrößerung 400fach. – Abb. 7: Malpighische Gefäße einer Zuckmücken-Larve (*Chironomus* spec.). Vergrößerung 100fach.

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

rigen Malpighischen Gefäße münden in den hinteren Abschnitt des Mitteldarmes und scheiden vor allem Guanin und Harnsäure aus. Malpighische Gefäße sind auch die typischen Exkretionsorgane der Insekten. Es handelt sich hier um lange, mit Drüsenzellen ausgestattete Schläuche, die an der Grenze von Mittel- und Enddarm in den Verdauungskanal münden (Abb. 7).

Vor- und Urniere

Bei den Wirbeltieren sind in der phylogenetischen und ontogenetischen Entwicklung drei Arten von Nierenorganen zu unterscheiden. In der ontogenetischen Entwicklung steht die embryonale Vorniere (Pronephros) am Anfang. Embryonen und Larven fast aller Fische und sogar einige adulte urtümliche Fischarten haben eine Vorniere. Sie besteht aus Flimmertrichtern und zu jedem gehört ein Gefäßknäuel (Glomerulus).
Bei adulten Fischen und Amphibien ist die Vorniere durch die Urniere (Mesonephros) ersetzt. Vor- und Urniere bestehen aus segmental angeordneten Mesodermkanälen (Mesoderm = Zellverband aus dem dritten Keimblatt), die mit einem Flimmertrichter in der Leibeshöhle beginnen und in einem paarigen Gang, dem primären Harnleiter (Wolff'scher Gang), einmünden. Mit den Kanälchen treten segmentale Blutgefäße in Verbindung (Abzweigungen der Aorta), die schließlich ein Gefäßknäuel bilden, den Glomerulus. Die Glomeruli liegen ursprünglich in der Leibeshöhle, werden aber im Verlauf der ontogenetischen Entwicklung in das Nierengewebe einbezogen und von der Bowman'schen Kapsel umhüllt. Damit entstehen die Nierenkörperchen (Malpighische Körperchen), wie sie in der endgültigen Niere aller Säugetiere vorkommen (Abb. 8).

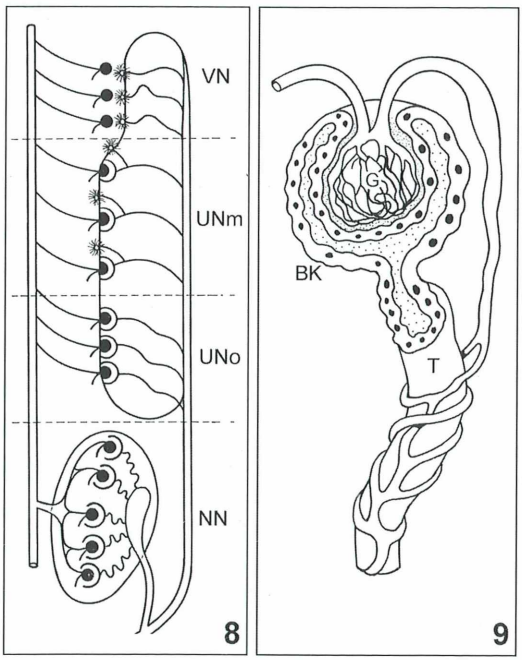


Abb. 8: Nierenorgane der Wirbeltiere. VN Vorniere, UNm Urniere mit Wimpertrichter, UNo Urniere ohne Wimpertrichter, NN Nachniere. – Abb. 9: Bowman'sche Kapsel (BK) mit Glomerulus (G) und Tubulus (T).

Nachniere und endgültige Niere

Im Folgenden werden die Verhältnisse der Amniota vorgestellt, das heißt den Wirbeltieren mit Embryonalhüllen (Fruchthüllen), die eine Allantois (Harnsack = embryonaler Darmanhang bei Säugetieren, Vögeln und Reptilien) bilden. Dort sind Vor- und Urniere nur im Embryonalstadium vorhanden, die Nachniere (Metanephros) ist dann das bleibende Nierenorgan. Diese zeigt keine segmentale Anordnung der Kanälchen und hat einen eigenen Ausführgang, den sekundären Harnleiter oder Ureter. Er wächst vom unteren Ende des Urnierenganges (dem Wolff'schen Gang) gegen die Anlage der Nachnierenkanälchen vor, bildet das Nierenbecken und verbindet sich mit den Exkretionskanälchen. Die Nachnierenkanälchen besitzen keinen Flimmertrichter, sie beginnen stets mit einer Bowman'schen Kapsel (Abb. 9).
Die Niere der höheren Wirbeltiere ist ein sehr kompliziert gebautes Organ mit vielerlei exkretorischen und auch inkretorischen Funktionen. Sie ist also auch ein endokrines Organ, das Hormone und hormonähnliche Faktoren ausschüttet. Im Vordergrund steht aber die Harnbildung (Abb. 10). Zuerst wird aus dem Blutplasma ein Ultrafiltrat gebildet, das anschließend im Tubulussystem durch selektive Rückresorption und Sekretion modifiziert und schließlich durch zusätzlichen Wasserentzug zum endgültigen Harn konzentriert wird. Zum Studium der mikroskopischen Anatomie der Niere sei auf entsprechende Fachbücher ver-

© Elsevier GmbH. Alle

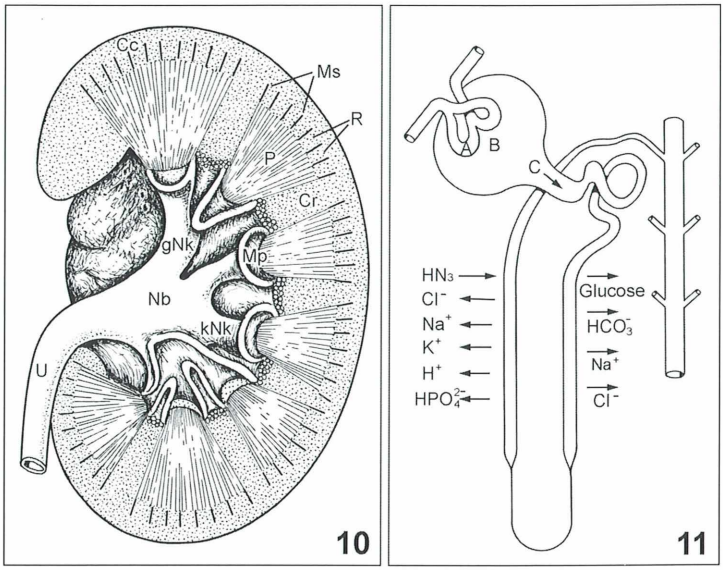


Abb. 10: Säugetier-Niere im Längsschnitt. Cc Cortex corticis, Cr Columnae renales, gNk großer Nierenkelch, kNk kleiner Nierenkelch, Nb Nierenbecken, Mp Markpapillen, Ms Markstrahlen, P Markpyramiden, R Rindenlabyrinth, U Ureter (aus Dietrich, 1982). – Abb. 11: Schema eines Nephrons. Der Primärharn wird aus dem Glomerulus (A) in das Lumen der Bowman'schen Kapsel filtriert (B) und im Tubulussystem durch Resorptions- und Sekretionsvorgänge zum Sekundärharn umgewandelt (C).

wiesen, denn das würde den Rahmen dieser Ausführungen sprengen. Nur so viel: Das Parenchym der Niere besteht beim Menschen aus über einer Million Nephronen. Sie bilden die architektonischen Baueinheiten der Niere und setzen sich aus den Nierenkörperchen (Malpighische Körperchen) und dem Tubulusapparat zusammen (Abb. 11). Hauptbestandteil des Nierenkörperchens ist der aus miteinander anastomosierenden Kapillarschlingen bestehende Glomerulus. Hier entsteht der Primärharn, der als Ultrafiltrat durch die Glomerulus-Kapillarwand, die extrazelluläre Basallamina und die innere Wand der Bowman'schen Kapsel hindurch abgeschieden wird (Abb. 10). Der anschließende Tubulusapparat ist ein Schlauchsystem mit verschieden gebauten Abschnitten, die schon mit bloßem Auge zu sehen sind: Hauptstück (Tubulus proximalis), Überleitungsstück (Henle'sche Schleife), Mittelstück und Verbindungsstück (Ende des Nephrons). Das Verbindungsstück endet im Sammelrohrsystem. Die Wand des gesamten Tubulusapparates besteht aus einem einschichtigen Epithel, aus platten oder kubischen (isoprismatischen) Zellen (diese vor allem im Verbindungsstück). Im Tubulusabschnitt werden vor allem Salze wie Kochsalz und Glukose rückresorbiert und dadurch die Wasserstoff-Ionen-Konzentration, also der pH-Wert des Blutes, reguliert.

Einige Besonderheiten

Die Salzkonzentration des Wassers bestimmt die Anatomie der Fischniere. Jene Fische, die im Süßwasser leben, haben auffallend große Glomeruli. Sie müssen infolge des osmotischen Druckes zwischen der Körperflüssigkeit und dem Wasser relativ große Flüssigkeitsmengen aus dem Fischkörper ausscheiden. Umgekehrt sind die Verhältnisse bei Meeresfischen. Hier besteht die Gefahr eines zu großen osmotischen Wasserentzuges aus dem Körper. Deshalb sind die Glomeruli stark rückgebildet. Marine Fische scheiden überflüssiges Salz und andere Abbauprodukte vielfach über die Kiemen aus.

Eine andere Besonderheit zeigen Knorpelfische (Chondrichthyes) wie Haie und Rochen, die ebensoviel Flüssigkeit ausscheiden wie Süßwasserfische. Die Nieren der Knorpelfische scheiden zwar Wasser aus, der Harnstoff wird aber zurückgehalten und im Blut gespeichert. Da der Harnstoff eine Ammoniak-Verbindung ist und sich davon immer gerade soviel im Blut befindet, dass der osmotische Druck mit dem Meerwasser übereinstimmt, werden trotz vermehrter Wasserausscheidung die Gewebe nicht entwässert.

Über ein besonders „Salz-Ventil" verfügen manche Sauropsiden (Reptilien und Vögel), die im oder am Meer leben und gezwungenermaßen Salzwasser aufnehmen. Die Meerechsen

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

auf dem Galapagos-Archipel, Seeschildkröten, Seeschlangen und Seevögel wie Sturmschwalbe, Silbermöwe und Baßtölpel haben nahe der Augen Salzdrüsen, die überschüssige Salze in Form einer Salzlösung ausscheiden, denn die Niere alleine könnte diese Funktion nicht erfüllen.

Literaturhinweise

Bohle, A., Walvig, F.: Beitrag zur vergleichenden Morphologie der epitheloiden Zellen der Nierenarteriolen unter besonderer Berücksichtigung der epitheloiden Zellen in den Nieren von Süßwasserfischen. Klin. Wochenschrift 42, 415–421 (1964).

Kaestner, A.: Lehrbuch der Speziellen Zoologie, Band I, 3. Teil (Insecta: A. Allgemeiner Teil). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1972.

Sobotta, J., Hammersen, F.: Histologie. Urban & Schwarzenberg Verlag, München 1979.

Ullrich, K. J.: Gedanken eines Physiologen zur Morphologie der Niere. Medizin in unserer Zeit 3, 67–78 (1979).

Starck, D.: Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere, Band 3. Springer-Verlag, Berlin 1982.

Dietrich, H. J.: Mikroskopische und submikroskopische Struktur der Niere, Schwerpunkt Medizin 6, 34–45 (1983).

Lierse, W.: Praktische Anatomie, 2. Band, Teil 8A, Becken. Springer-Verlag, Berlin 1984.

Geneser, F., Schwerdtfeger, L.: Histologie. Deutscher Ärzteverlag, Köln 1990.

Lenz, T.: Die Niere als endokrines Organ. Der Kassenarzt 4, 34–38 (2003).

Korbmacher, Chr.: Das Herz schlägt für die Niere. Dtsch. Apothekerzeitung 144, 709–710 (2004).

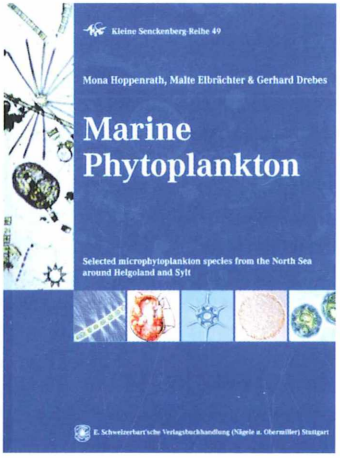
von Muralt, A.: Praktische Physiologie. Springer-Verlag, Berlin 1943.

Verfasser: Dipl.-Biologe Siegfried Hoc, Mikrobiologische Vereinigung München e.V., Donaustraße 1a, 82140 Olching

Die Abbildungen fertigte an: Josef Häckl, Bruckerstraße 16A, 82275 Emmering

Buchbesprechung

Hoppenrath, M., Elbrächter, M., Drebes, G.:
Marine Phytoplankton – Selected phytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt, 2nd edition.
Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 2009,
264 Seiten, zahlreiche Schwarz-Weiß-Abbildungen auf 85 Tafeln,
Paperback, € 18,80,
ISBN 978-3-510-61392-2.



Lange musste die Leserschaft warten, bis dieses Buch über marine Diatomeen und Dinoflagellaten auf dem Büchermarkt erschien. Die Wartezeit war insofern lange, als sich das vorliegende Werk, wie man dem Vorwort der aktuellen Auflage entnimmt, als die zweite Auflage des 1974 erschienenen und seit Dekaden vergriffenen Werks *Marines Phytoplankton. Eine Auswahl der Helgoländer Planktonalgen (Diatomeen, Peridineen)* aus der Feder von Gerhard Drebes versteht.

Die in englischer Sprache verfasste Neuauflage ist ebenso wenig wie die ursprüngliche Version ein Bestimmungsbuch im strengen Sinne und auch keine lückenlose taxonomische Zusammenstellung des Helgoländer und Sylter Phytoplanktons. Es ist vielmehr eine Art anspruchsvolles Bilderbuch für solche, welche sich mit den einzelligen Algen um Helgoland und Sylt herum vertraut machen wollen.

Der Fokus liegt nach wie vor auf der Lebendbeobachtung der Organismen, jetzt allerdings unterstützt durch zahlreiche rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen, welche das dreidimensionale Verständnis der jeweiligen Zellmorphologie erheblich erleichtern. Der Umfang des Buchs erfuhr im Laufe der Zeit einen merklichen Zuwachs. Berücksichtigte die Erstauflage 170 Arten, werden nun 288 Arten behandelt. Den Grundstock des Buches machen aber immer noch zahlreiche der ursprünglichen Fotos von Gerhard Drebes aus.

Angesichts des unglaublich günstigen Preises dieses Buch sollte kein planktologisch interessierter Mikroskopiker zögern, sich sein eigenes Exemplar zuzulegen. Und dabei muss man nicht unbedingt auf das marine Habitat fixiert sein. Es wird auf jeden Fall eine Bereicherung der privaten Bibliothek sein.

Klaus Hausmann, Berlin

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

Mikroskopische Streifzüge auf Hiddensee Teil 4: Rotalgen-Aufwuchs

Wolfgang Bettighofer

Der Aufwuchs auf Pflanzen, Mauern und Steinen unter Wasser ist ein mannigfaltiger Lebensraum für Einzeller und kleine Mehrzeller. Als bevorzugte Wuchsbasis für allerlei sessile Ciliaten und Diatomeen erwiesen sich Rotalgen der Ordnung Ceramiales. Unsere Fischzüge in den Seegraswiesen des Boddens sowie an Kaimauern und Pollern lieferten uns neben zweier Arten der Familie Ceramiaceae (*Ceramium diaphanum, C. tennicorne*) auch einen Büschel von *Polysiphonia fibrillosa*.

Nachdem im zweiten Hiddenseebericht Grundsätzliches zum Habitus der Ceramiaceae skizziert worden ist (Bettighofer, 2010), soll hier kurz die Gattung *Polysiphonia* vorgestellt werden. Sie gehört ebenfalls zur Gruppe der Ceramiales, wird aber in die Rhodomelaceae, einer Schwesterfamilie der Ceramiaceae, eingereiht. Der allseitig verzweigte, runde Thallus (Bezeichnung für die Sprossachsen der Algen) besteht aus Segmenten gleich hoher Zellen. Dabei ist jeweils eine Zentralzelle von einer für die betreffende Art charakteristische Anzahl von vier oder mehr gleich langen perizentralen Zellen umgeben (Abb. 1). *Polysiphonia* zeigt im Querschnitt einen Ring von sechs Perizentralzellen. Diese um die Zentralachse herum gelagerte Zellschicht kann man als Röhre begreifen (Siphon). Der Name *Polysiphonia* weist darauf hin, dass eine Anzahl von Arten mehrere perizentrale Zellschichten besitzen. An den Vegetationskegeln, den wachsenden Thallus-Spitzen, befinden sich farblose, monosiphone Haartriebe (Zellketten ohne Hülle aus Perizentralzellen), die aber meist frühzeitig abgeworfen werden (Abb. 2).

Die Wände, durch welche die Scheitelzellen bei den Teilungen ihre Tochterzellen abgliedern, stehen vielfach schief zur Längsachse des Hauptsprosses, so dass die Segmente ungleichseitig werden. Die Abspaltung der Perizentralzellen beginnt erst nach einigen Zellenlängen Distanz zum Vegetationskegel. Die nachfolgend gebildeten Perizentralzellen werden dann abwechselnd rechts und links von der ersten abgegliedert, bis sie die Zentralachse umschließen.

Die höchste Populationsdichte des Aufwuchses fanden wir an den Spitzen der Zweige sowie an den Verzweigungen in den apikalen und subapikalen Regionen. Die Ciliaten waren grundsätzlich an den Thalluszellen angeheftet, während wir bei *Ceramium diaphanum* einzelne Diatomeen auch an dessen dicht stehenden Fadenhaaren fixiert fanden. Neben *Cocconeis* stachen ausschließlich Formen mit Gallertstielen wie *Achnanthes* (Abb. 5 und 6), *Gomphonema*,

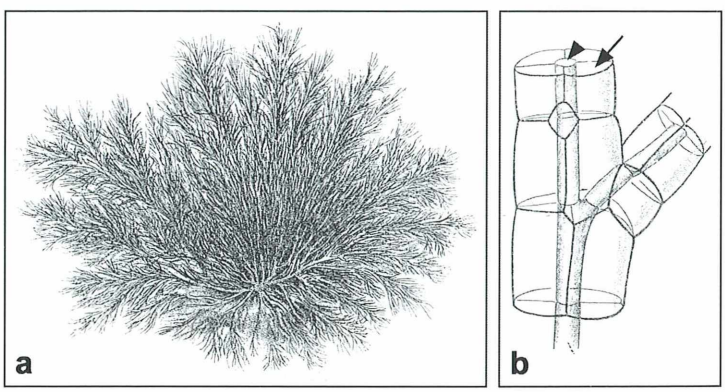


Abb. 1: a Grafik eines Busches von *Polysiphonia*. Die Büsche werden 10–20 cm hoch. b Sprossteil mit Zentralachse (Pfeilkopf) und perizentralen Zellen (Pfeil) (nach Oltmanns, 1922).

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

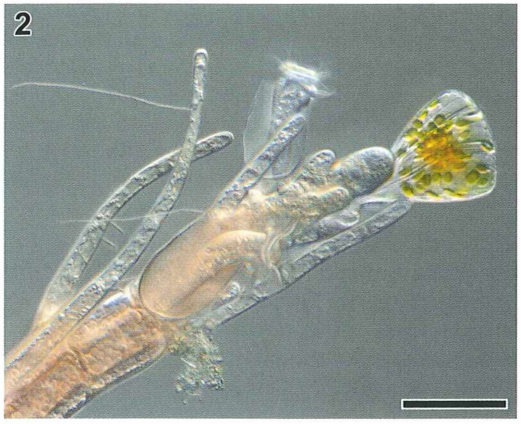


Abb. 2: Vegetationskegel von *Polysiphonia fibrillosa* mit Haartrieben und Aufwuchs. 27 Ebenen. Maßbalken 50 µm.

Licmophora und *Rhoicosphenia* ins Auge. Abbildung 3 zeigt deutlich, wie sehr die unmittelbare Umgebung der Vegetationskegel bevorzugt wird. Nur vereinzelt wurde bei *Ceramium diaphanum* Ciliaten-Aufwuchs nach der zweiten Gabelung (von den Vegetationskegeln her gesehen) vorgefunden. Die Populationsdichte illustriert auch die Abbildung 4. Um die peritrichen Ciliaten und die Diatomee *Achnanthes* hervorzuheben, ist bei dieser Stapelaufnahme auf die Darstellung fast aller Fadenhaare verzichtet worden.

Gläserne Kunstwerke

Ceramium und *Polysiphonia* unterscheiden sich deutlich in der Wuchsform. *Ceramium* wächst

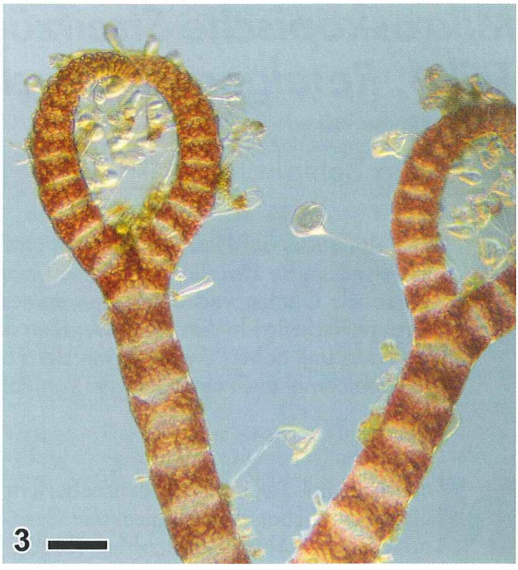
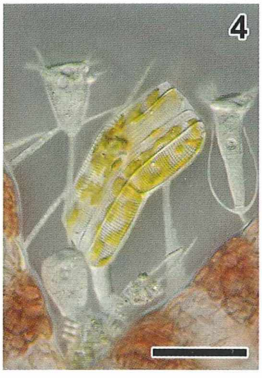
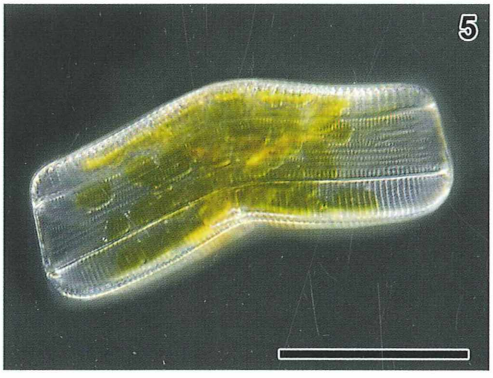


Abb. 3: *Ceramium tennicorne* ist Träger zahlreicher Aufwuchslebewesen, vor allem Ciliaten und Diatomeen. 3 Ebenen. Maßbalken 100 µm.

viel dichter und geschlossener als *Polysiphonia*. Ich konnte beobachten, dass der von außen nach innen gerichtete Aufwuchsdichte-Gradient bei *Polysiphonia* deutlich geringer war als bei *Ceramium*, das heißt die Aufwuchsdichte vom Vegetationskegel zur Mitte des Büschels nahm bei *Polysiphonia* wesentlich langsamer ab als bei *Ceramium*. Dies trat besonders deutlich bei *Ceramium diaphanum* mit seinem starken Besatz an Fadenhaaren im äußeren Bereich der Thalli hervor. Es hatte den Anschein, als behindere das dichte Sieb der Fadenhaare die Einwanderung beziehungsweise den Verbleib von Epibionten.





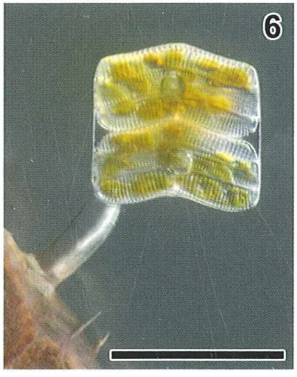
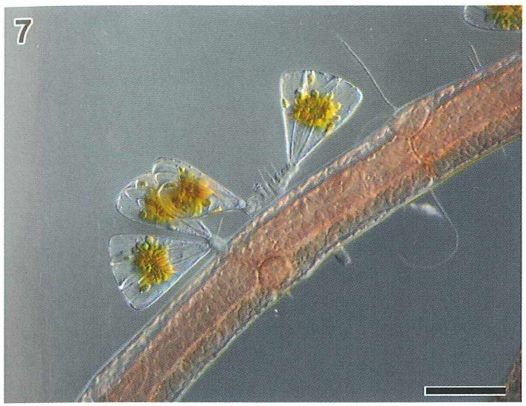


Abb. 4: Aufwuchsgesellschaft auf *Ceramium diaphanum*. 33 Ebenen. – Abb. 5 und 6: *Achnanthes longipes*. 14 bzw. 9 Ebenen. Maßbalken 50 µm.

© Elsevier GmbH



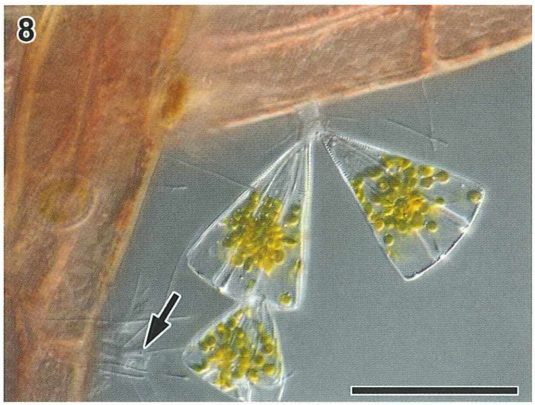


Abb. 7 und 8: Kieselalge *Licmophora juergensii* auf *Polysiphonia fibrillosa*. 28 bzw. 19 Ebenen. Links unten bei Abbildung 8 ein verlassender Gallertstiel (Pfeil). Maßbalken 50 µm.







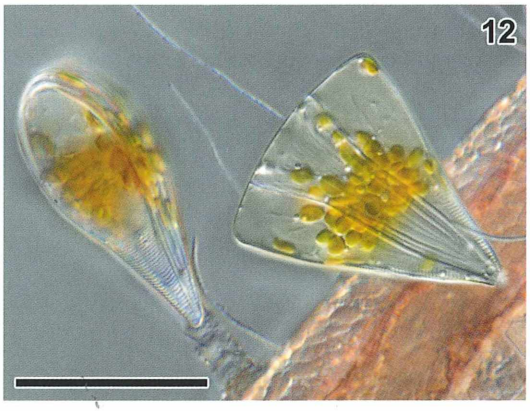


Abb. 9 und 10: Die Kieselalgen *Rhoicosphenia abbreviata* und *Cocconeis placentula* auf *Polysiphonia fibrillosa*. 18 bzw. 19 Ebenen. Der bei Abbildung 9 quer durch das Bild laufende Faden ist eine Cyanobakterienkolonie der Gattung *Pseudanabaena*. Maßbalken 10 µm. – Abb. 11: *R. abbreviata* zusammen mit einer Reihe von Blaualgenfäden der festsitzenden Oscillatoriales (*Pseudanabaena, Homeothrix*). Maßbalken 10 µm. – Abb. 12: Kieselalge *Licmophora juergensii* in Valvar- und Gürtelbandansicht. Maßbalken 50 µm.

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

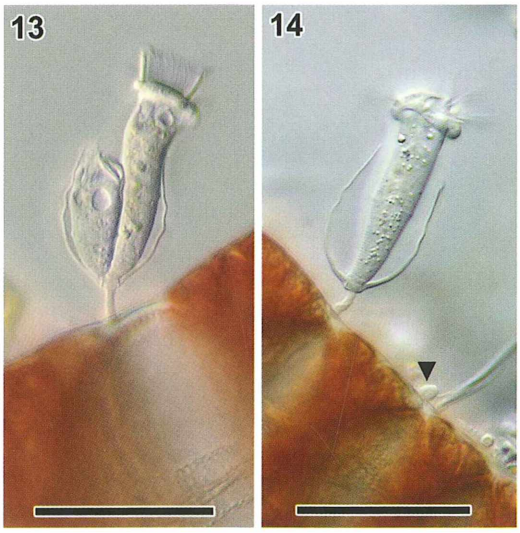


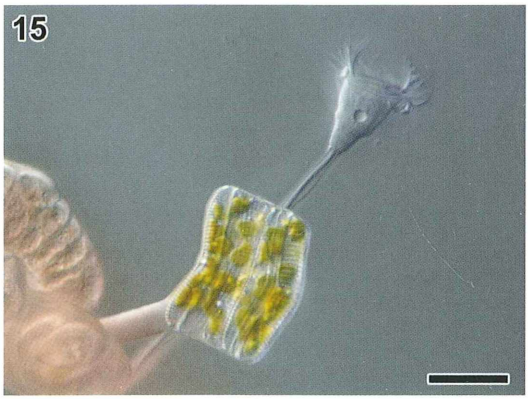
Abb. 13 und 14: Ciliat *Cothurnia* (Pokaltierchen). 4 bzw. 8 Ebenen. Maßbalken 50 µm.

Polysiphonia war stark mit der dekorativen Fächerdiatomee *Licmophora juergensii* (Abb. 7, 8 und 12), den im Streble und Krauter (2006) Algenläuse genannten *Cocconeis* (Abb. 9, 10 und 11) und der Keil-Kieselalge *Rhoicospenia abbreviata* (Abb. 9 und 11) besetzt. Mit Ausnahme von *Cocconeis* sitzen diese alle auf Gallertstielen. Bei der Präparation hatten sich einige der Fächer von ihren Stielen gelöst. Abbildung 8 zeigt einen verlassenen Stiel sowie rechts daneben eine Zelle, die sich während der Beobachtung deutlich sichtbar bewegte und vorläufig auf einer Schwesterzelle ihrer Art Halt gefunden hatte. Dies zeigte in eindrucksvoller Weise, dass auch die stationären, von den Taxonomen in der Unterordnung Araphidineae (die Nahtlosen, keine Raphe besitzenden) geführten Kieselalgen durchaus beweglich sind und demnach ebenfalls ein Bewegungsorganell besitzen. Abbildung 12 zeigt in der linken Bildhälfte eine Fächeralgenzelle von ihrer schmalen Seite (Valvaransicht) auf einem Gallertstiel üblicher Größe. Daneben befindet sich eine Zelle in Gürtelband- oder Cingularansicht. Deren sehr schwach ausgebildeter Gallertstiel deutet darauf hin, dass sich die Zelle erst kurz vor den Aufnahmen an dieser Stelle am Algenfaden festgesetzt hat.

Die *Polysiphonia*-Sprosse waren teilweise stark mit fädigen Blaualgenkolonien der Ordnung Oscillatoriales besetzt. *Pseudanabaena* war fast überall zu sehen, an einigen Stellen fanden sich auch die deutlich stärkeren Fäden von *Homeothrix* (Abb. 11).

Leben im Sektkelch

Ciliaten der Gattung *Cothurnia* (Pokaltierchen) leben in zarten chitinösen Bechern ohne Deckel. Eigentlich ist es bei dieser Gattung üblich, dass die Becher von je einem Individuum bewohnt werden. Die linke, kontrahierte Zelle in Abbildung 13 ist nur unvollständig am Gehäuseboden fixiert. Dies könnte darauf hindeuten, dass kurz vor den Aufnahmen eine Teilung stattgefunden hat, der Schwärmer sich aber noch nicht ganz abgelöst und die Lorica noch nicht verlassen hat. Bei Abbildung 14 sieht man



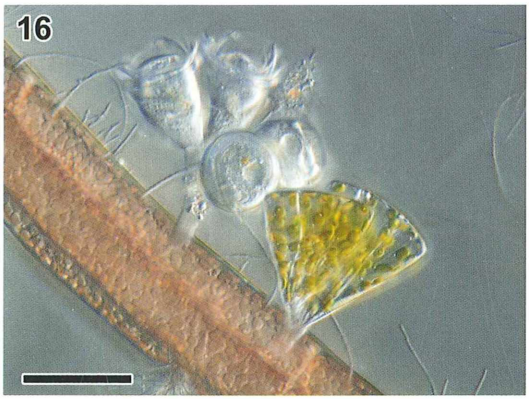


Abb. 15 und 16: Sessile Ciliaten und Kieselalgen. Maßbalken 50 µm. – Abb. 15: *Vorticella* mit *Achnanthes longipes*. 27 Ebenen. – Abb. 16: *Zoothamnium* mit *Licmophora juergensii*. 17 Ebenen.

© Elsevier GmbH

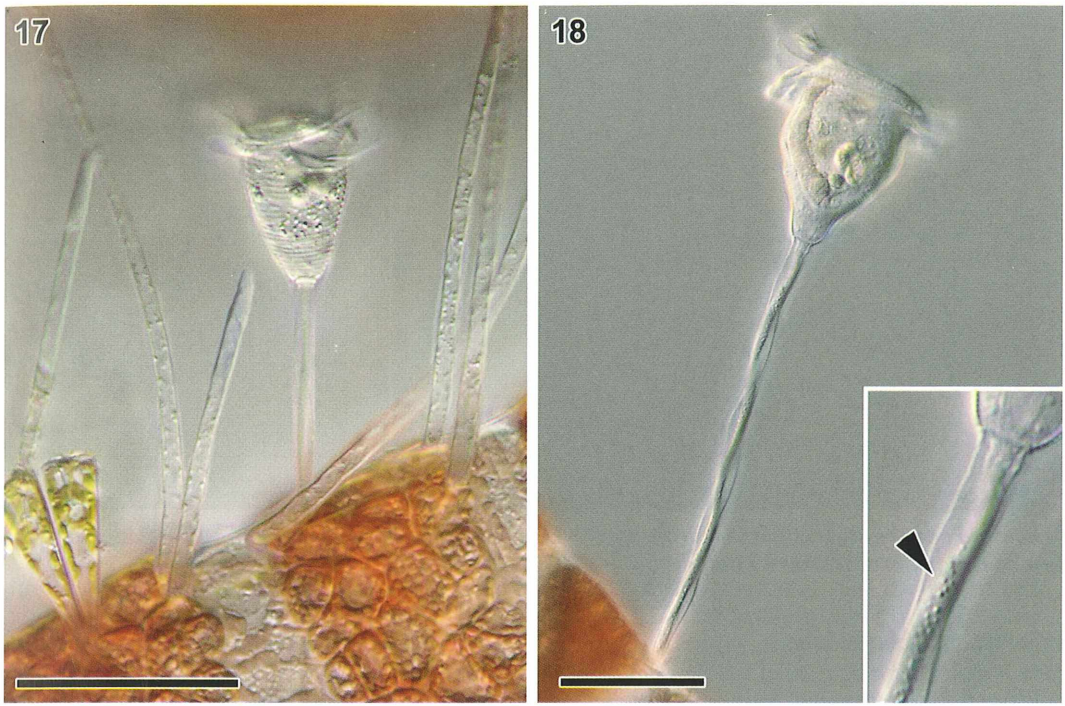


Abb. 17 und 18: ***Vorticella.*** **12 bzw. 13 Ebenen. Maßbalken 50 µm. Pfeilkopf weist auf Mitochondrien.**

links neben dem Stiel eines Glockentierchens am *Ceramium*-Ast den Ansatz eines sich neu bildenden Fadenhaares (Pfeilkopf). Die Dichte des Besatzes mit Fadenhaaren illustriert Abbildung 17 eindrucksvoll. Sie wachsen bei Ceramiaceae grundsätzlich aus den randständigen Rindenzellen. Die Botaniker beschreiben sie als „hinfällig". Sie brechen im Zuge der Alterung der Rindenzellen ab und werden deshalb nur in der Nähe des Vegetationskegels vorgefunden. Neben den Pokaltierchen und *Zoothamnium*-Kolonien, den so genannten Strauchtierchen mit nicht-kontraktilen Stielen (Abb. 16), befanden sich viele Individuen der Gattung *Vorticella* im Aufwuchs (Abb. 15, 17, 18).

Die Zelle in Abbildung 18 zeigt ihren länglichen Makronucleus sowie das kabelförmige Spasmonem, ein Bündel aus Mikrofilamenten, gewissermaßen der „Muskel" im Stiel. Die feinen Pünktchen auf dem Spasmonem sind Mitochondrien (siehe Pfeilkopf im Einsatzbild). Mit ihrer Energie werden die schlagartig freigesetzten Caliumionen, welche für die blitzschnellen Kontraktionen verantwortlich sind, wieder in die Speichercisternen des endoplasmatischen Retikulums zurücktransportiert. Im Stielmantel verläuft ein Band von spiralig angeordneten Versteifungsstäben, welches als passiver Antagonist den Stiel streckt.

Suktorien mit Ähnlichkeit zu Podophrya

Suktorien oder Sauginfusorien sind eine Unterklasse der Ciliaten, bei denen nur die Fortpflanzungsstadien bewimpert sind. Die Art, die wir auf den Ästchen von *Ceramium diaphanum* vorfanden, passt zu Beschreibungen von Mitgliedern der Gattung *Podophrya* (Streble und Krauter, 2006; Foissner, 1995), wobei in den zitierten Bestimmungswerken ausschließlich Süßwasserformen behandelt werden. In Abbildung 19 sieht man direkt neben einem Suktor eine *Cothurnia*, die offensichtlich nicht zu den Beuteorganismen gehört. Auch Glockentierchen, welche dicht neben den Suktorien wurzelten, wurden nicht behelligt. Alle Suktorien zeigten durch die große Anzahl von Nahrungsvakuolen in ihrem Plasma, dass sie gut im Futter standen.

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

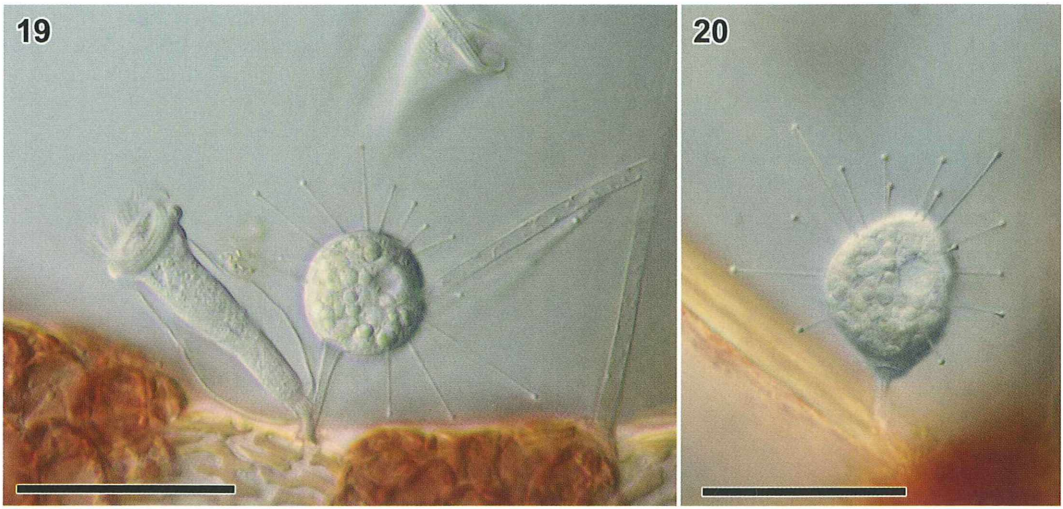


Abb. 19: ***Podophrya*** **spec. mit** ***Cothurnia*** **spec. 5 Ebenen. Maßbalken 50 µm. – Abb. 20:** ***Podophrya*** **spec. 6 Ebenen. Maßbalken 50 µm.**

Wie isst man ohne Mund?

Suktorien besitzen keine Mundöffnung. Stattdessen haben sie Tentakel, die an ihrer Spitze besondere, als Haptocysten bezeichnete Organellen besitzen. Diese entladen sich bei Berührung durch Beuteorganismen (zumeist Ciliaten), dringen durch deren verstärkte Zellhülle (Pellicula) und halten sie fest. Es kommt dann ein Prozess in Gang, bei welchem das Protoplasma der Beute durch die Tentakel transportiert, an deren Ende in Nahrungsvakuolen verpackt und aufgenommen wird. Bei manchen Arten ist dabei ein zweiter Tentakeltyp beteiligt, welcher auf den Plasmatransport spezialisiert ist, während ersterer lediglich die Aufgabe hat, die Beute festzuhalten.

Obwohl die Bezeichnung Suktor „Sauginfusor" bedeutet, erzeugt diese Organismengruppe keinen Unterdruck, um sich Beuteplasma einzuverleiben. Modellvorstellungen zum vermeintlichen Saugvorgang gehen bis ins späte 19. Jahrhundert zurück (Hertwig, 1876; Maupas, 1881). Hull hatte 1961 durch grundsätzliche Überlegungen zum laminaren Durchfluss in Röhren und gestützt durch eine lichtmikroskopisch überwachte Versuchsreihe an *Podophrya collini* und dem Futterorganismus *Tetrahymena pyriformis* berechnet, dass der vom Suktor bei der Nahrungsaufnahme (Ingestion) zu erzeugende Unterdruck bei maximal 0,2 Atmosphären liegen müsste.

Demgegenüber ergaben Ultrastrukturuntersuchungen mit dem Transmissions-Elektronenmikroskop in den späteren 1960er Jahren, dass es sich beim Ingestionskanal in den Futterplasma transportierenden Tentakeln der Suktorien nicht um solide Röhrenstrukturen handelt, sondern dass eine Anzahl von Mikrotubuli (einzeln und gebündelt) die röhrenförmige Plasmamembranstruktur im Zentrum der Tentakel lediglich begleiten. Im Ruhezustand zeigen die Tentakel überhaupt keine Röhrenstruktur in ihrem Inneren. Details dazu siehe Rudzinska (1965) sowie Bardele und Grell (1967). Somit war klar, dass die Hull'sche Modellvorstellung des laminaren Durchflusses in soliden Röhren nicht anwendbar war.

Anfang der 1970er Jahre klärte sich die Angelegenheit, woran Bardele (1972) von der Universität Tübingen einen großen Anteil hatte (Abb. 22). Es stellte sich heraus, dass ein speziell konstruierter Mikrotubulus-Apparat, welcher trichterförmig ausstülpbar ist, die Verankerung im Futterorganismus bewirkt, nachdem der fixierende Kontakt durch Haptocysten genannte Organellen im endständigen Tentakelknopf hergestellt worden ist. Den Transportmotor für die Aufnahme des Futterplasmas durch die Plasmamembranröhre stellen frei ins Röhrenlumen ragende Dyneinarme dar, die auf dem oberen Teil der den Ingestionskanal begleitenden Mikrotubulibänder sitzen. Koordiniert docken sie an die Plasmamembran an, schwenken nach unten

© Elsevier GmbH

in Richtung Zellmitte, lösen sich wieder von der Membran und schwenken nach oben. So ziehen sie Schritt für Schritt die Plasmamenbran zusammen mit dem Futterplasma in den Suktor. Am inneren Ende der Ingestionsröhre werden die Nahrungsvakuolen abgeschnürt. Dyneinarme sind auch maßgeblich beim Geißel- und Cilienschlag der Eukaryoten beteiligt.
Ein Strom von so genannten osmophilen Granula, welche Plasmamaterial beinhalten, fließt in der äußeren Röhre des Tentakels an die Spitze des Ingestionskanals und sorgt für Nachschub an Plasmamembran-Material. Der Strom dieser Körperchen wurde übrigens schon sehr früh bei lichtmikroskopischen Untersuchungen entdeckt.

Trichodina als Beute

Im Präparat bewegten sich eine größere Anzahl von *Trichodina*-Schwärmern (Polypenläuse). Diese schienen die bevorzugte Beute der Suktorien zu sein. Jedenfalls sah ich im Präparat an vielen Stellen ausschließlich die in den Abbildungen 21 und 23–26 gezeigten Jäger-Beute-Situationen. In keinem Fall wurde ein anderer Aufwuchsciliat behelligt. Auch die Vorticellen (Abb. 23–26), welche in unmittelbarer Nähe der *Podophrya* an den *Ceramium*-Zweig anhefteten, waren lediglich durch die Enge unter dem Deckglas „verstimmt".
Die Abbildungen 23–26 zeigen in zeitlicher Abfolge die Ingestion des Beuteplasmas (Phasen I bis III). Der Vorgang wurde von mir insgesamt zwei Stunden beobachtet, die Fotos zu Abbildung 24 entstanden ziemlich genau in der Mitte der Beobachtungszeit. Es war interessant zu sehen, wie die *Trichodina* mit der Zeit nicht etwa kleiner, sondern deutlich größer wurde. Der Grund lag in einer sich ins Riesenhafte vergrößernden Vakuole, die (insbesondere bei Abb. 26 gut sichtbar) schließlich fast das gesamte Lumen des Beuteorganismus einnahm.
An der Ausschnittsvergrößerung in Abbildung 27 ist deutlich erkennbar, dass diejenigen Tentakel, welche den Kontakt zum Futterorganismus herstellen und für den Plasmatransport sorgen, gegenüber den am Beutefang unbeteiligten Tentakeln deutlich verdickt sind.



Abb. 21: Aufwuchsgesellschaft auf der Rotalge *Ceramium* mit *Podophrya* und gefangener *Trichodina*. 6 Ebenen. Maßbalken 50 µm.

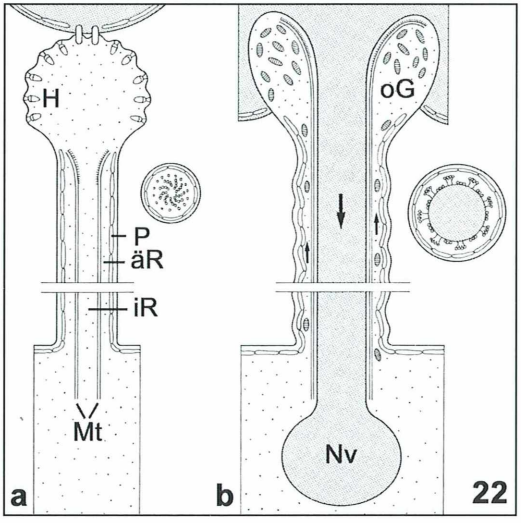


Abb. 22: Schematische Darstellung eines Längsschnittes durch einen Suktoriententakel im Ruhezustand (a) und während des Transports von Futterplasma (b). äR äußere Röhre, H Haptocysten, iR innere Röhre, Mt Mikrotubuli, Nv Nahrungsvakuole, oG osmiophile Granula, P Pellicula. Die Pfeile bei Abbildung b zeigen die Flussrichtung von Futterplasma (in der iR) und der osmiophilen Granula (in der äR) (nach Bardele, 1972).

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

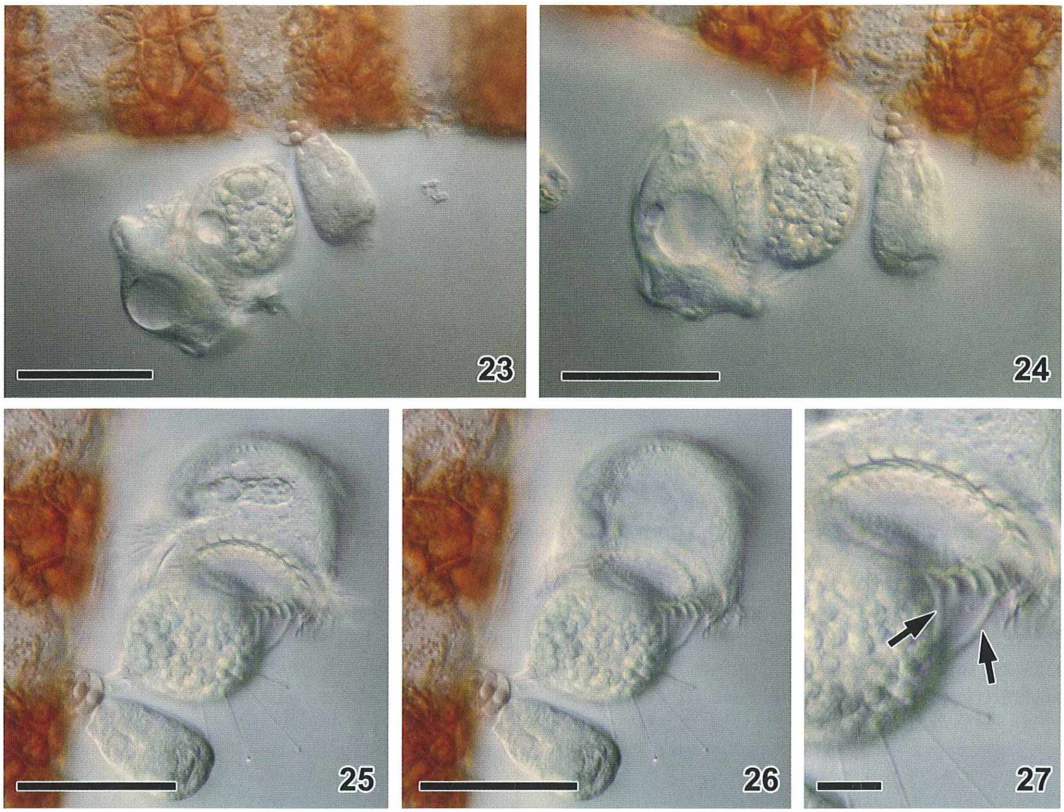


Abb. 23–27: *Trichodina* an Suctor. 6–11 Ebenen. – Abb. 23: Phase I. – Abb. 24 Phase II, 60 Minuten später. – Abb. 25–27: Phase III, 120 Minuten später. – Abb. 26: *Trichodina* an Suctor. Optischer Schnitt durch die riesenhaft angewachsene kontraktile Vakuole. Maßbalken Abb. 23–26 50 µm. – Abb. 27: Ausschnitt; durch zwei verdickte Tentakel (Pfeile) wird Beuteplasma transportiert. Maßbalken 10 µm.

Fazit

Rotalgen der Ordnung Ceramiales stellen für peritriche Ciliaten und aufwachsende Diatomeen ein belebtes Habitat dar, welches dem Hobbymikroskopiker viel Gelegenheit zu interessanten Beobachtungen gibt. Zudem zeigte es sich, dass die Rotalgenproben, so sie in viel Wasser aufbewahrt und kühl (um 10 °C) gehalten werden, zumindest eine Woche gut überstehen, sodass einem erfolgreichen Algentransport am Urlaubsende ins heimische Labor nichts im Wege steht.

Literaturhinweise

Bardele, C. F.: A microtubule model for ingestion and transport in the suctorian tentacle. Z. Zellforsch. 126, 116–134 (1972).

Bardele, C. F., Grell, K. G.: Elektronenmikroskopische Beobachtungen zur Nahrungsaufnahme bei dem Suktor *Acineta tuberosa* Ehrenberg. Zeitschr. Zellf. 80, 108–123 (1967).

Bettighofer, W.: Mikroskopische Streifzüge auf Hiddensee. Teil 2: Die Rotalge *Ceramium*. Mikrokosmos 99, 14–17 (2010).

Foissner, W., Berger, H., Blatterer, H., Kohmann, F.: Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems – Band IV: Gymnostomatea, Loxodes, Suctoria. Informationsberichte des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 1/95, München 1995.

Grell, K. G.: Protozoologie, 2. Auflage. Springer-Verlag, Berlin 1968.

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

Hertwig, R.: Über *Podophrya gemmipara* nebst Bemerkungen zum Bau und zur systematischen Stellung der Acineten. Morphol. Jahrb. 1, 20–82 (1876).

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

Hull, R. W.: Studies on suctorian protozoa: The mechanism of ingestion of prey cytoplasm. J. Protozool. 8, 351–359 (1961).
Lee, J., Leedale, G., Bradbury, P. (eds.): The illustrated guide to the protozoa, 2nd edition. Society of Protozoologists, Lawrence Kansas 2000.
Matthes, D.: Suktorien. In: Röttger, R. (Hrsg.): Praktikum der Protozoologie, S. 194–199. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1995.
Maupas, E.: Contribution a l'étude des Acinetes. Arch. Zool. Exper. et Gen. 9, 299–368 (1881).
Oltmanns, F.: Morphologie und Biologie der Algen. Verlag Gustav Fischer, Jena 1922.
Röttger, R.: Wörterbuch der Protozoologie. Shaker Verlag, Aachen 2003.
Rudzinska, M. A.: The fine structure and function of the tentacle in *Tokophrya infusorium*. J. Cell Biol. 25, 459–477 (1965).
Streble, H., Krauter, D.: Das Leben im Wassertropfen, 10. Auflage. Franckh-Kosmos Verlag, Stuttgart 2006.

Verfasser: Wolfgang Bettighofer, Rutkamp 64, 24111 Kiel, E-Mail: wolfgang.bettighofer@gmx.de, Internet: www.protisten.de

Nachricht

IME 2010: Stand der Dinge

Die im Septemberheft 2009 gemeldete Nachricht, dass es geplant ist, als Nachfolger der *Internationalen Mikroskopietage Hagen* solche in Emden abzuhalten, hat ein überwältigend positives Echo hervorgerufen, so dass davon ausgegangen werden kann, dass sie, wie angekündigt, vom 17. bis 19. September 2010 stattfinden werden. Neben zahlreichen Absichtserklärungen, teilnehmen zu wollen, gibt es unterdessen bereits eine Reihe fest angemeldeter Teilnehmer und auch Referenten, welche über spannende Themen der Mikroskopie berichten werden. Über die Homepage *http://ime.technik.emden.de* kann man sich informieren, wieweit die Planungen bereits gelaufen sind. *Aktuelle Informationen* vermitteln generelle Angaben zu den Mikroskopietagen. *Vorträge und Abstracts* geben einen Vorgeschmack dessen, was im September in den Räumlichkeiten der Fachhochschule Emden, welche der offizielle Veranstalter der IME ist, thematisch geboten wird. *Hinweise für Vortragende* wollen dazuanimieren, durch eine eigene Präsentation aktiv die Tage mitzugestalten. Es werden vier Optionen angeboten: *Fachvortrag*, *Workshop*, *Praktische Demonstration* sowie *Poster*. Der hauptverantwortliche Veranstalter Prof. Dr. Gerhard Kauer leistet gerne Hilfestellung bei der Planung und Vorbereitung der entsprechenden Aktivitäten. Er kann schnell über folgende E-Mail-Adresse kontaktiert werden: ime@fho-emden.de.



University of Applied Sciences
Fachhochschule EMDEN·LEER

In Kürze werden auf der Homepage Details zur Anmeldung für die IME 2010 zu finden sein.

Redaktion MIKROKOSMOS

ANZEIGE



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

Mikro-Ufo

Schneckenförmige Gebilde in einer Eintagsfliegenlarve

Die grabenden Larven der Eintagsfliege *Ephemera danica* dienen verschiedenen epizoischen Glockentierchen als Wirt. Zum Beobachten der peritrichen Ciliaten wurden Beine und Kiemen der Ephemeropterenlarve abpräpariert und unter dem Mikroskop untersucht. Neben einem massiven Befall mit bdelloiden Rädertierchen fanden sich auch zahlreiche schneckenförmige Gebilde in dem Präparat (Abb. 1).

Diese Gebilde ähneln im Aussehen in etwa den bekannten Posthornschnecken, sind aber farblos und mit einiger Sicherheit keine Gastropoda (Abb. 2). Der Durchmesser betrug circa 50–80 µm; Lebensäußerungen wie Bewegungen, Vakuolentätigkeit oder Ähnliches konnten nicht festgestellt werden.

Um mineralische Partikel scheint es sich aber auch nicht zu handeln. Die Körper sind scheibenförmig mit etwa acht spiraligen Umgängen, wobei der äußere Umgang breiter ist als die inneren. Am Ende des äußeren Umgangs liegt stets ein ovales, fensterähnliches Gebilde (Abb. 2 und 3).

Um welche Art von Lebewesen (falls überhaupt?) es sich hier handelt, ist vollkommen unklar. Zu den Rädertieren scheint kein Bezug zu bestehen; Eier von Rädertieren etwa sehen vollkommen anders aus. *Ephemera danica* wird zwar wie andere Ephemeridenlarven oft von verschiedenen endoparasitischen Apicomplexa (Sporentierchen) befallen (Perkins et al., 2000), die aber mit den gefundenen Partikeln keinerlei morphologische Ähnlichkeit haben.

Was kann das sein?

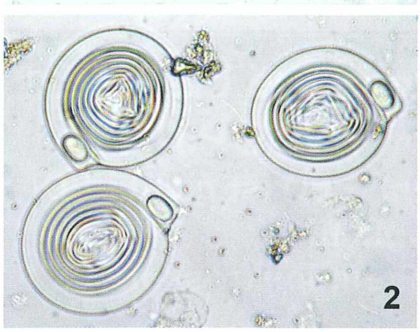
Wer etwas zu diesem Mikro-Ufo weiß, sollte sich an die Redaktion oder aber unmittelbar an den Verfasser wenden.

Literaturhinweis

Perkins, F. O., Barta, J. R., Clopton, R. E., Peirce, M. A., Upton, S. J.: "Apicomplexa". In: Lee, J. J., Leedale, G. F., Bradbury, P. (Eds.): An illustrated guide to the protozoa. Vol. 1, pp. 190–369. Society of Protozoologists, Lawrence Kansas 2000.

Verfasser: Dr. Horst Schödel, Zum Weidig 6, 96138 Burgebrach,
E-Mail: horst.schoedel@online.de





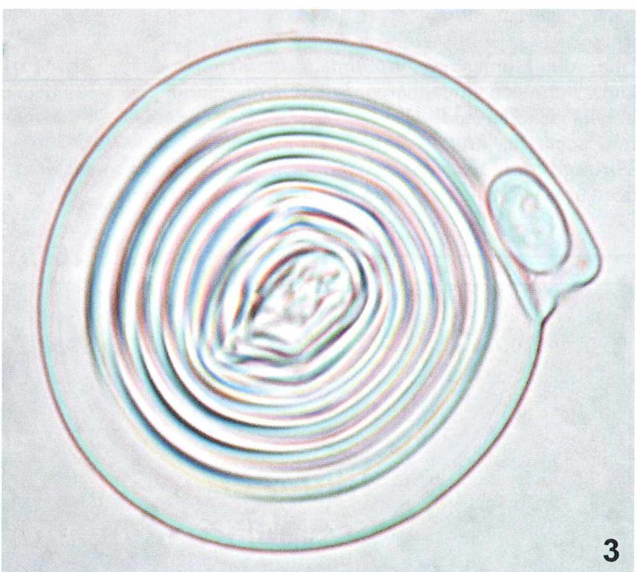


Abb. 1: Rädertier und runde Gebilde (Pfeile). – Abb. 2 und 3: Höhere Vergrößerungen zeigen eine schneckenförmige Struktur der Gebilde.

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

Faszination Magma – Mikroskopie von Feldspatkristallen

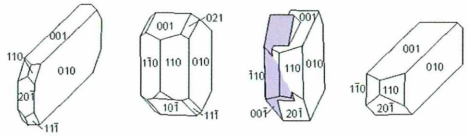
Robert Sturm

Die Feldspatgruppe zählt zu den bedeutendsten Bestandteilen der Erdkruste. Neben ihrem ubiquitären Auftreten in praktischen allen Gesteinsarten fasziniert diese Mineralgruppe durch ihr vielfältiges Erscheinungsbild unter dem Mikroskop. Dies ist insbesondere gekennzeichnet durch verschiedene Formen der Verzwilligung (orientierte Vergesellschaftung von zwei oder mehr Individuen der gleichen kristallinen Phase) sowie durch diverse Abbau- und Umwandlungsreaktionen. Der vorliegende Beitrag soll einen Einblick in den Mikrokosmos von Feldspat geben.

Grundsätzlich versteht man unter der Bezeichnung Feldspat eine Mineralgruppe, welche sich aus etwa 20 Mineralen mit unterschiedlicher Kristallsymmetrie zusammensetzt. Lediglich neun dieser Minerale sind bislang ausführlich dokumentiert worden und gelten als weit verbreitete Bestandteile der Erdkruste. Hinsichtlich ihrer Morphologie zählen die einzelnen Spezies der Feldspatgruppe zu den so genannten Gerüst- oder Tektosilikaten, die sich durch ein dreidimensionales, hauptsächlich aus SiO_4- und AlO_4-Tetraedern zusammengefügtes Kristallgitter auszeichnen (Deer et al., 1992). Die chemische Zusammensetzung einzelner Feldspatkristalle wird durch die Hauptelemente Si, Al, K, Na und Ca bestimmt, und demzufolge werden drei chemische Endglieder unterschieden: Kalium-Feldspat ($KAlSi_3O_8$), Albit ($NaAlSi_3O_8$) und Anorthit ($CaAl_2Si_2O_8$; Tab. 1). Während der Abkühlung des Magmas entstehende Mischkristalle treten lediglich zwischen Albit und Anorthit sowie zwischen Kalium-Feldspat und Albit auf, wobei die erste Mischkristallgruppe unter der Bezeichnung Plagioklas, die zweite hingegen unter der Bezeichnung Alkalifeldspat ihren Eingang in die Sachliteratur gefunden hat. Die Plagioklasgruppe setzt sich aus den durch unterschiedliche Mischungsverhältnisse der Endglieder gekennzeichneten Mineralen Albit, Oligoklas, Andesin, Labradorit, Bytownit und Anorthit zusammen, wohingegen die Alkalifeldspatgruppe die Minerale Orthoklas, Mikroklin, Sanidin und Anorthoklas enthält (Barth, 1969; Parsons, 1994).

Eine interessante Problemstellung betrifft das natürliche Vorkommen von Feldspat. Einzelne Minerale dieser Gruppe kristallisieren sowohl aus dem Magma der Tiefengesteine (Plutonite) als auch aus der Lava der Ergussgesteine (Vulkanite). In den meisten dieser Gesteine stellt Feldspat einen, um nicht zu sagen, den mineralischen Hauptbestandteil mit Volumenanteilen zwischen 30 und 50 % dar. Die Mineralgruppe

Tabelle 1: Chemische und physikalische (vor allem optische) Eigenschaften der Feldspatgruppe.

Feldspatgruppe - Chemische Zusammensetzung	
	$(K, Na, Ca)Al_{2-3}Si_{1-2}O_8$
Feldspatgruppe - Physikalische Eigenschaften	
Kristallhabitus	Monokline oder trikline tafelige Kristalle, elongiert nach [100], isometrisches Wachst. v. {001} u. {010}
	
Farbe	Hell gefärbt: weiß, grau, gelb, grünlich, rosa durch Einschlüsse von Hämatite; transparent
Kristallsystem	Monoklin (2/m) oder triclin ($\bar{1}$)
Spaltbarkeit	Perfekt parallel zu {001}, deutlich parallel zu {010}
Bruch	Uneben, spröde
Mohs'sche Härte	6 - 6.5
Refraktionsindex	1.520 - 1.568
Optische Eigenschaften	Schwache bis mittlere Doppelbrechung
Pleochroismus	Nicht vorhanden
Strich	Weiß
Dichte	2.5 - 2.8

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

bleibt jedoch keineswegs auf magmatische Gesteine beschränkt, sondern findet sich ebenso in Ablagerungsgesteinen und Metamorphiten. In Sedimenten anzutreffender Feldspat entstammt dabei zumeist einem magmatischen Gestein, welches intensiven Verwitterungsprozessen ausgesetzt war, wodurch die mineralischen Hauptbestandteile freigesetzt und an entsprechender Stelle akkumuliert werden konnten. Sedimentgesteine, die sich ausschließlich aus Feldspat zusammensetzen und die Bezeichnung Arkose tragen, sind in der Natur eher selten, da frei transportierter Feldspat die Tendenz zur Umwandlung in Tonminerale besitzt (Parsons, 1994).
Feldspat-haltige Metamorphite bildeten sich in vielen Fällen aus Gesteinen, die bereits über eine Feldspatphase oder zumindest vermehrt über jene zur Neokristallisation notwendigen Hauptelemente verfügten. Während Anorthit und Orthoklas hauptsächlich in mittel- bis hochgradig metamorphen Gesteinen vorzufinden sind, beschränkt sich das Auftreten von Albit und Oligoklas in der Mehrzahl auf niedrig- bis mittelgradige Metamorphite. Eine interessante metamorphe Erscheinungsform des Feldspats wird durch das Mineral Sanidin repräsentiert, dessen bevorzugte Kristallisation unter den physikalischen Bedingungen einer Hochtemperatur-Kontaktmetamorphose stattfindet (Matthes, 1990). Feldspatminerale können nicht zuletzt auch in so genannten Pegmatiten und Gängen vorgefunden werden, wo sie aus einer Fluidphase auskristallisierten, welche alle elementaren Hauptbestandteile für ihre Bildung mit sich führte. Im Falle eines langsamen und kontinuierlichen Kristallwachstums erreichen einzelne Feldspatkristalle Größen von mehreren Zentimetern (Barth, 1969).
Die vorliegende Studie verfolgt das Ziel, dem mineralogisch interessierten Mikroskopiker eine Vorstellung über Feldspat mit seinen spezifischen mikroskopischen und mikrochemischen Eigenschaften zu geben. Für die ausführliche Beschreibung des Minerals wurden entsprechende Proben von magmatischen und metamorphen Gesteinen, wie sie am Südwestrand des Böhmischen Massivs anzutreffen sind, herangezogen.

Mikroskopie und Mikroanalyse von Feldspat

Ein Teil jeder Gesteinsprobe wurde für die Produktion von Dünnschliffen verwendet, an denen die lichtmikroskopischen Studien erfolgten (Abb. 1). Die Untersuchungen wurden dabei mit Hilfe eines petrographischen Spezialmikroskops der Marke Zeiss (Typ Polyvar) durchgeführt, welches in geeigneter Weise für Beobachtungen im Hell- und Dunkelfeld ausgerüstet war.

Makroskopisches Erscheinungsbild von magmatischem Feldspat

Die hier zur Vorstellung gelangenden Gesteinsproben entstammen einheitlich dem Südwestrand des Böhmischen Massivs, eines variszischen Gebirgsgürtels (variszisch = paläozoisches Gebirgsbildungsereignis), welcher dem mitteleuropäischen Moldanubikum zugeordnet werden kann. Innerhalb dieser großräumigen tektonometamorphen Einheit traten Hochtemperatur-/Niedrigdruck-Metamorphose, partielle Krustenschmelzprozesse (Anatexis) und ausgedehnter Plutonismus (Prozesse, die mit dem Eindringen von Magmen in die Erdkruste zusammenhängen) als signifikante Ereignisse auf, die prägend auf die Geologie des Studiengebietes und seiner Umgebung wirkten. Die Gesteinsproben sind einerseits den variszischen Migmatiten und Gneisen der so genannten Monotonen Serie zugehörig und lassen sich andererseits mit variszischen und post-variszischen Granitkörpern assoziieren, welche in die Deckenschichten der Monotonen Serie intrudiert sind.
Wie den Gesteinsproben der Abbildung 1 in recht deutlicher Weise entnommen werden kann, zeichnet sich magmatisch gebildeter Feldspat durch eine hohe Vielfalt an Erscheinungsformen aus. Während er in einem ultramylonitischen, das heißt durch intensive Fließverformung gekennzeichneten Gestein in Form rundlicher Klasten (Großkomponenten) auftritt, welche gleichsam in einer feinen mineralischen Matrix eingebettet sind (Abb. 1a und f), werden im Falle des Perlgneises (Abb. 1b und d) kleine, ebenfalls rundliche Kristalle der Feldspatphase vom ubiquitär in Erscheinung tretenden Mineral Biotit umflossen. Als besonders eindrucksvoll in Hinblick auf ihr makroskopisches Erscheinungsbild erweisen sich die grobkörnigen Gneise wie der in Abbildung 1c gezeigte Schlierengranit und der in Abbildung 1e zur Darstellung gebrachte Weinsberger Granit. In erstem Fall tritt der zu etwa 40 Vol.-% im

Gestein enthaltene Plagioklas anhand irregulär geformter Aggregate auf, welche sich über mehrere Zentimeter in alle Richtungen erstrecken können, wohingegen in zweitem Fall jener als Hauptphase zu identifizierender Kalifeldspat durch eine mehr oder weniger ideale, tafelartige Geometrie und eine von 1 bis 10 Zentimeter variierende Größe charakterisiert ist.

Mikroskopische und mikrochemische Analyse

Gemäß den Abbildungen 2 und 3 lassen sich Feldspatkristalle unter dem Mikroskop aus mehrerlei Gründen leicht identifizieren und von anderen Mineralphasen unterscheiden: Hier ist zunächst ihr relativ häufiges Erscheinen als große, in einer feinen Mineralmatrix eingebet-

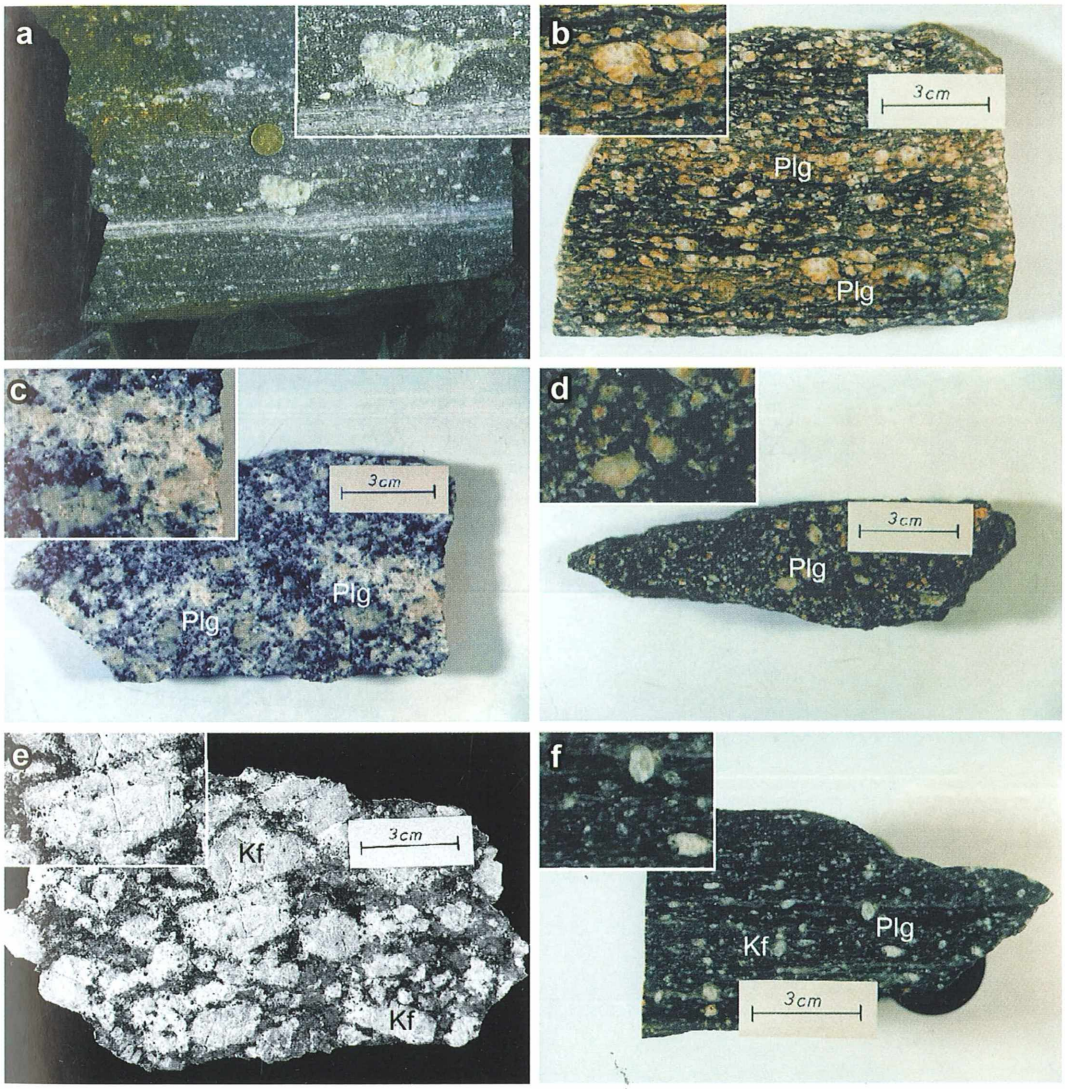
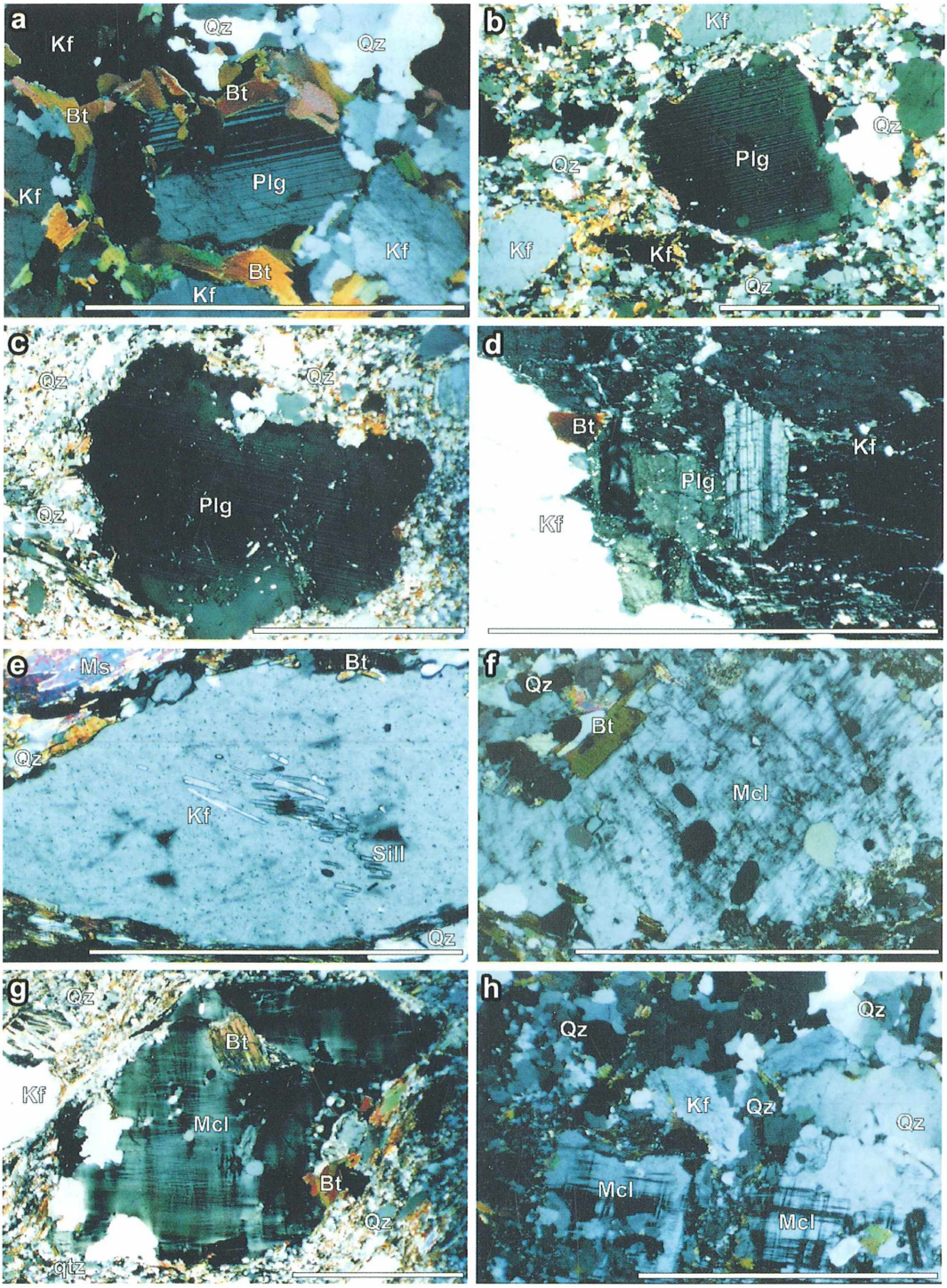


Abb. 1: Makroskopisches Erscheinungsbild von magmatischem Feldspat am Beispiel verschiedener Gesteinsproben vom Südwestrand des Böhmischen Massivs. a und f Mylonit mit mittel- bis grobkörnigen Klasten von Kalifeldspat (Kf) und Plagioklas (Plg), b–d mittel- bis grobkörnige Gneise mit rundlich beziehungsweise unregelmäßig geformten Plagioklaskristallen, e Granit mit großkörnigen, tafeligen Kalifeldspaten und feiner, zwickelfüllender Matrix aus Quarz, Biotit und Plagioklas.

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



◀ **Abb. 2: Mikroskopisches Erscheinungsbild von Plagioklas (a–d) – erkennbar zumeist durch seine polysynthetische Verzwilligung – und Kalifeldspat (e–g). Bt Biotit, Mcl Mikroklin, Ms Muskovit, Qz Quarz, Sill Sillimanit (Balken: 3 mm).**

tete Klasten zu nennen. Diese feine, mineralische Füllsubstanz bildete sich entweder während der Spätphase der magmatischen Kristallisation oder gelangte im Zuge eines metamorphen Rekristallisationsprozesses unter reger Teilnahme so genannter Fluidphasen zur Ausformung. Als weiteres Charakteristikum von Feldspat ist seine individuelle Verzwilligung zu werten, die ausschließlich im Dunkelfeld (Polarisator und Analysator in gekreuzter Stellung) beobachtet werden kann. Plagioklas zeigt dabei im Regelfall eine polysynthetische Zwillingsbildung,

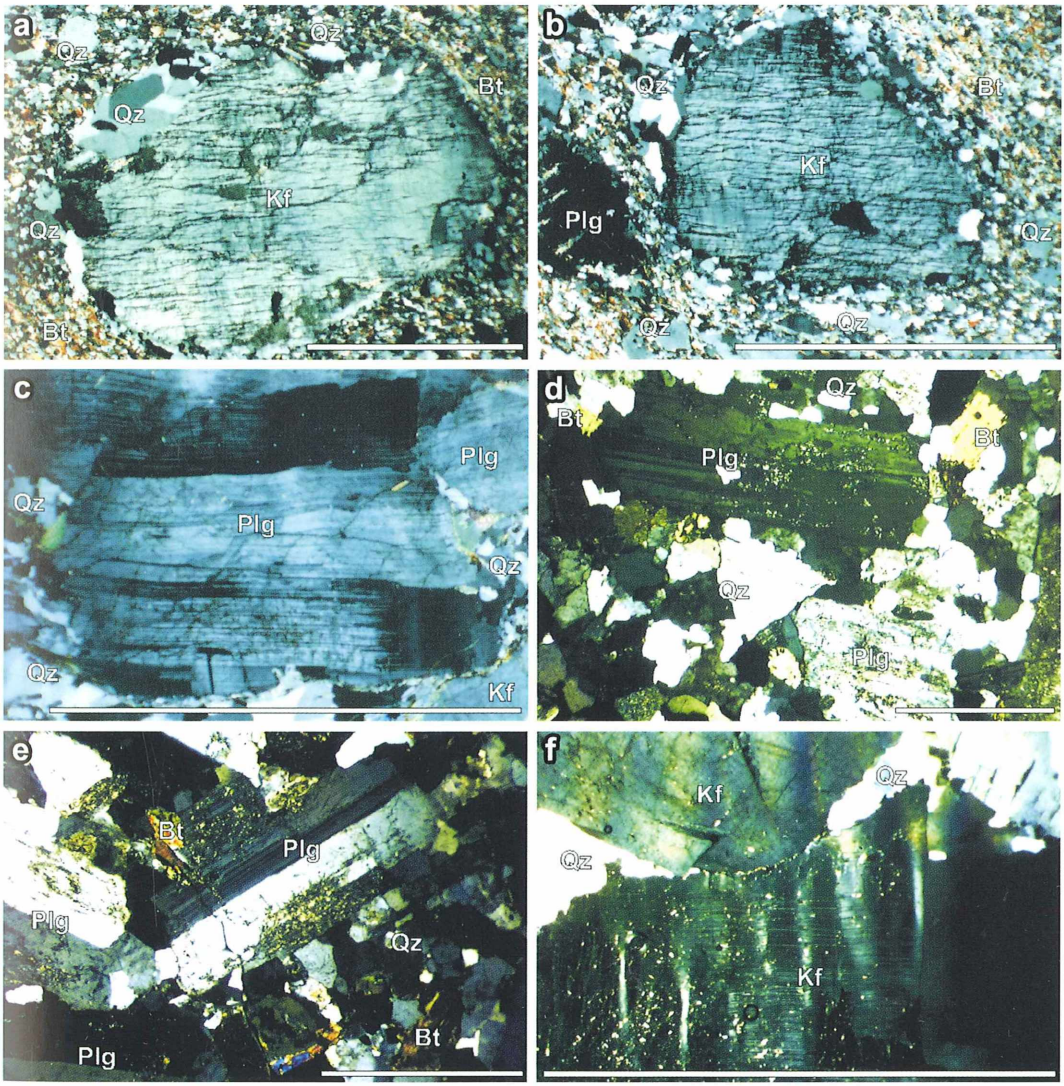


Abb. 3: Weitere, teils durch Einwirkung von Deformationskräften bedingte Erscheinungsformen von Kalifeldspat (a, b, f) und Plagioklas (c–e) unter dem Mikroskop. Für Abkürzungen siehe Abbildung 1 und 2 (Balken: 3 mm).

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

welche sich durch eine zumeist regelmäßige Abfolge heller und dunkler Streifen auszeichnet (Abb. 2a, b, 3c).

Kalifeldspat (Orthoklas) tritt bezüglich seiner Verzwilligung deutlich hinter Plagioklas zurück und repräsentiert sich im Dunkelfeld dementsprechend als homogen gefärbte Phase. Eine signifikante Ausnahme ist jedoch für den Alkalifeldspat Mikroklin zu attestieren, dessen in Fachkreisen als Mikroklingitterung bekanntes Erscheinungsbild zu einem stets unverwechselbaren Merkmal avanciert (Abb. 2f–h). Als drittes Exklusivmerkmal von Feldspat gilt dessen hoher Gehalt an Mineraleinschlüssen, wobei die Anzahl inkludierter Phasen in positiver Korrelation zur Größe des Wirtsminerals steht (Abb. 4d–g). Die primären Mineraleinschlüsse entstanden zeitgleich mit der Kristallisation des Wirtsminerals aus dem Magma, während die sekundären Einschlüsse durch Umwandlungsprozesse im bereits voll auskristallisierten Wirtsmineral gebildet wurden.

Die chemische Zusammensetzung der hier vorgestellten Feldspatphasen darf als relativ homogen bewertet werden. Während sich Kalifeldspat durch SiO_2-Konzentrationen zwischen 64 und 66 Gew.-% sowie Anteile an Al_2O_3 zwischen 16 und 19 Gew.-%, an K_2O zwischen 15 und 16 Gew.-% und an Na_2O zwischen 0,6 und 0,9 Gew.-% auszeichnet, und damit ein deutliches Vorherrschen der Orthoklaskomponente vorliegt, beläuft sich bei Plagioklas der Gehalt an SiO_2 lediglich auf 61–63 Gew.-%, jener an Al_2O_3 hingegen auf 23–25 Gew.-%, jener an Na_2O auf 8–9 Gew.-% und jener an CaO auf 4–5 Gew.-%.

Resümee

Die Feldspatgruppe mit ihrer chemischen und strukturellen Variabilität sowie ihrem vielfältigen Auftreten innerhalb der Erdkruste darf als ein interessantes mikroskopisches Studienobjekt gelten. Im petrographischen Dünnschliff lassen sich einzelne Vertreter der Mineralgruppe mit einfachsten Mitteln, so etwa anhand der Ausbildung von Zwillingen oder aufgrund ihrer Größe innerhalb des Kornverbandes, identifizieren. Von wissenschaftlichem Interesse ist vor allem das Verhalten von Feldspatkristallen bei großtektonischen und damit in Verbindung stehenden metamorphen Prozessen, wo der Mineralgruppe eine besondere Rolle bei der Abschätzung ehemals vorherrschender Druck- und Temperaturbedingungen in der Erdkruste zuteil wird.

Literaturhinweise

Barth, T. F. W.: Feldspars. Wiley-Interscience, New York 1969.

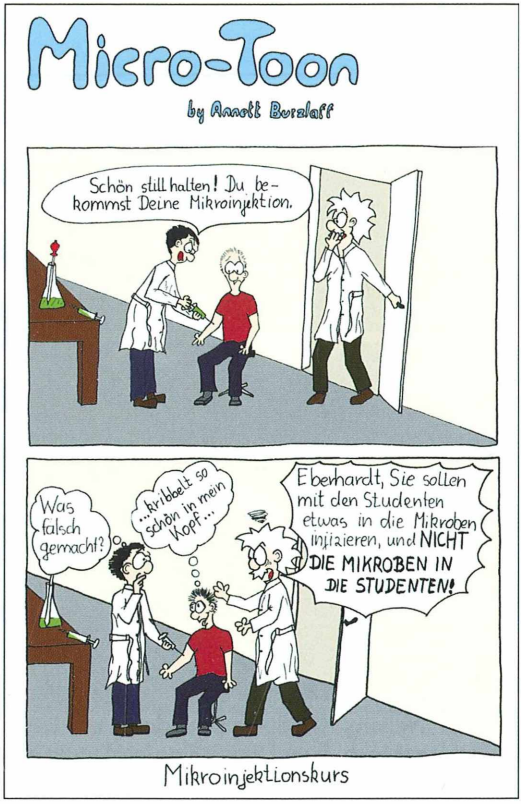
Deer, W. A., Howie, R. A., Zussman J.: An introduction to the rock-forming minerals. Longmans Scientific and Technical, London 1992.

Matthes, S.: Mineralogie. Springer-Verlag, Berlin 1990.

Parsons, I.: Feldspars and their reactions (proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Feldspars and their Reactions). Kluwer, Dordrecht 1994.

Verfasser: Mag. mult. Dr. Robert Sturm, Brunnleitenweg 41, A-5061 Elsbethen, Österreich,
E-Mail: Robert.Sturm@sbg.ac.at

Micro-Toon



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

Flughaare von Samen und Früchten und die Textur ihrer Zellwände
Teil 1: Samenhaare

Eberhard Schnepf

Viele Samen und Früchte werden durch den Wind verbreitet, manche mit Hilfe von Haaren. Diese können sehr verschieden gebaut und sehr verschiedener Herkunft sein. Samenhaare im engen Sinne wachsen aus Zellen der Samenepidermis hervor. Flughaare bei Früchten werden in einem zweiten Teil dieses Berichtes vorgestellt. Die Funktion dieser Flughaare hängt ab von der Textur ihrer Zellwände. Deren Quellungen und Entquellungen verursachen hygroskopische Bewegungen.

Die Flughaare vieler Pflanzen stehen bei Trockenheit starr weit ab und legen sich bei Nässe hygroskopisch zusammen. So fliegen die Samen oder Früchte nur bei Trockenheit. Bei Regen würden sie nicht weit kommen. Diese hygroskopischen Bewegungen werden durch Quellungsprozesse getrieben, welche vor allem von der Anordnung der Zellulosefibrillen in den Zellwänden, also von der Zellwandtextur abhängen. Solche Quellungen und Entquellungen helfen oft auch, um die Samen aus der Frucht frei zu machen.

Die Orientierung der Zellulosefibrillen in den Flughaaren kann man oft mit dem Polarisationsmikroskop mit einem „Gips-Rot-I-Plättchen" leicht analysieren, wie schon Zimmermann (1883) gezeigt hat. Zum Verständnis der polarisationsmikroskopischen Abbildungen: Wenn ein Wandbereich blau erscheint, ist er in Additionslage (bezogen auf das Gipsplättchen) und die Zellulosefibrillen laufen hier von südwest (SW) nach nordost (NO). Gelb zeigt die Subtraktionslage an; die Zellulosefibrillen laufen von nordwest (NW) nach südost (SO). Die hier verwendeten Landkartenbezeichnungen erklären sich wohl selbst. Für dicke Zellwände mit starker Doppelbrechung ist die Methode nicht geeignet. Der „relative optische Charakter", also das Erscheinungsbild der Wandtextur in Bezug auf die Längsachse der Zelle, wird

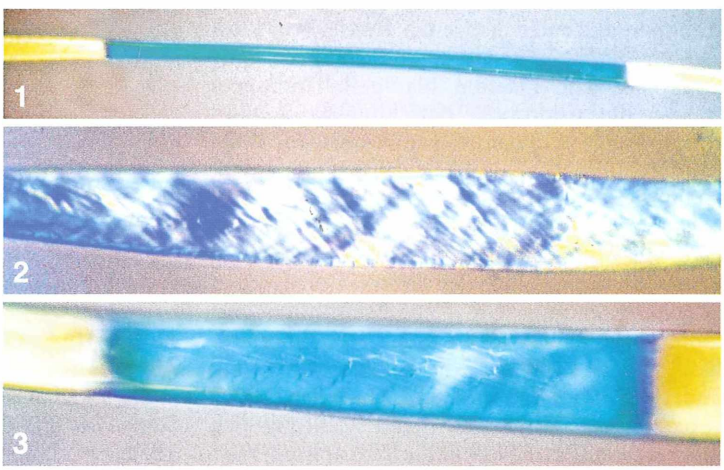


Abb. 1–3: Baumwolle *Gossypium herbaceum*, fast reife Samen, Haare in Orthogonalstellung. –
Abb. 1: Die Zellulosefibrillen verlaufen helikal, die Windungsrichtung ändert sich. Vergr. 150fach. –
Abb. 2: Die helikale Textur ist direkt sichtbar. Vergr. 400fach. –
Abb. 3: Die Zellulosefibrillen verlaufen helikal, die Windungsrichtung ändert sich. Risse in der Cuticula parallel zur Textur. Vergr. 400fach.

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

vorwiegend durch die Wandschichten geprägt, die als letzte vom Licht durchlaufen werden. Man spricht von Fasertextur, wenn die Zellulosefibrillen achsenparallel sind, von Röhrentextur, wenn sie quer dazu orientiert sind, und von helikaler oder Schraubentextur, wenn sie schräg um die Zellachse herum verlaufen.
Die Flughaare der meisten Pflanzen sind mit Luft gefüllt. Ich habe die Luft meistens durch Erhitzen in einer Phenol- oder Chloralhydrat-Lösung ausgetrieben, um den Bau der Zellwände und die Orientierung der Zellulosefibrillen besser dokumentieren zu können.

Die Samenhaare der Baumwolle, *Gossypium spp.*

Die Samenhaare mehrerer Baumwollarten werden schon seit langem als Textilfasern verwendet (Franke, 1985). Sie bedecken verstreut den ganzen Samen, bestehen zu 80–90% aus Zellulose, sind einzellig und werden bis 5 cm lang (Werker, 1997). Die längeren Haare, die Lintfasern, werden versponnen. Zwischen ihnen stehen kürzere Haare, die Linters oder Grundwolle. Diese benutzt man als Polstermaterial.
Die Samen und ihre Haare entwickeln sich in Kapseln. Die Kapseln öffnen sich bei der Reife, wobei die Haarbäusche heraustreten, vom Wind erfasst werden und den Samen mit sich forttragen. Sie sind schon in der Kapsel ein bisschen verknäult. Bei reifen Samen sind sie abgestorben, bandartig abgeflacht und in sich leicht schraubig verdreht. In Form von Watte sind sie zudem noch verknittert und deshalb für den Mikroskopiker nicht sehr reizvoll.
Die in den Abbildungen 1 bis 3 gezeigten Haare stammen aus einer fast reifen Kapsel von *Gossypium herbaceum*. Sie sind noch nicht ganz kollabiert. Die klarsten blau-gelb-Tönungen, welche die Additions- beziehungsweise Subtraktionslage mit dem Gipsplättchen im Polarisationsmikroskop zeigen, beobachtet man, wenn die Haare orthogonal, also NS oder OW ausgerichtet sind. Bei „blau", in der Additionslage, ist die Zellulose in SW-NO-Richtung orientiert, bei „gelb", der Subtraktionslage, in NW-SO-Richtung. Die Zellulosefibrillen verlaufen also in den Zellwänden schraubig, helikal. Dabei kann sich die Schraubenrichtung ändern (Abb. 1). Uphof und Hummel (1962) sprechen von Torsionen, deren Richtung sich mehrfach ändert. Die helikale Textur kann man stellenweise auch direkt erkennen (Abb. 2). Da sieht man auch, dass sich die Zellulosefibrillen in den übereinander liegenden Wandschichten überkreuzen.
Das Haar wird von der Cuticula umhüllt, die beim Eintrocknen manchmal aufreißt. Die Risse verlaufen oft ähnlich wie die Zellulosefibrillen unter ihnen (Abb. 3). Durch solche Risse kann Wasser eindringen: Watte saugt Wasser auf. Außerdem machen Risse die Oberfläche der Haare rau. Deshalb lassen sie sich gut verspinnen.
Die Zellwand der Haarzelle ist überall etwa gleich dick, sowohl distal als auch an der Haarbasis. Baumwollhaare bewegen sich hygroskopisch, aber insgesamt nur wenig. Wenn trockene Haare befeuchtet werden, krümmen sie sich in verschiedene Richtungen (Uphof und Hummel, 1962), wohl weil sich ja die helikale Textur im Haar mehrfach ändert.

Die Samenhaare von Seidenpflanzen

Der Schwalbenwurz *Cynanchium vincetoxicum* (*Vincetoxicum officinale*) ist eine einheimische Pflanze. Sie gehört zu den Asclepiadaceen, zu einer Familie, die jetzt zu den Apocynaceen gestellt ist. Sie heißen mit deutschem Namen Seidenpflanzengewächse, weil sie seidenartig glänzende Samenhaare haben. Diese sind einzellig, werden beim Schwalbenwurz 15–20 mm lang und bilden oben am Samen einen Schopf.
Die Samen wachsen in einer Balgfrucht heran. Wenn diese reif ist und sich öffnet, werden die Früchte frei und sind dann in trockenem Zu-

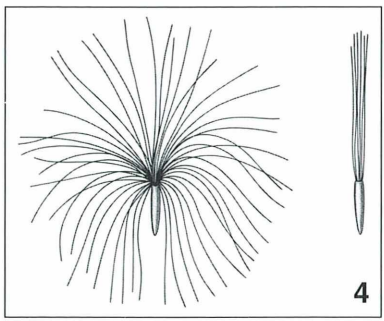
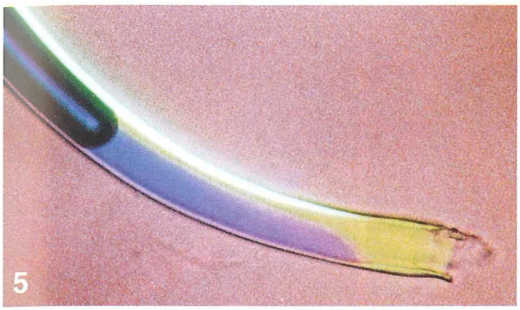
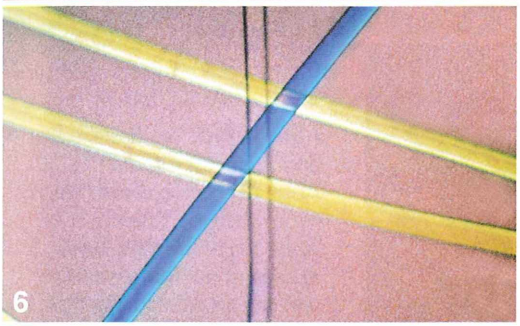


Abb. 4–10: Samenhaare von Seidenpflanzen. – Abb. 4: Haarschopf von *Apocynum hypercifolium* in der unreifen Frucht (rechts) und nachdem der Samen frei und trocken wurde. Aus Hildebrand, 1872.





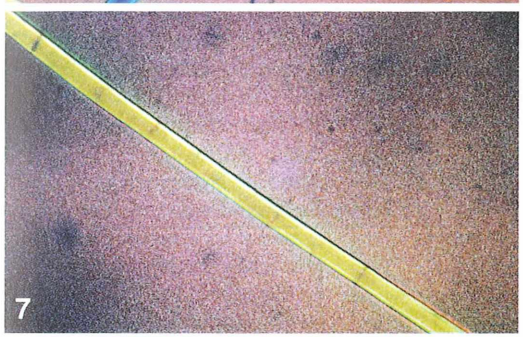




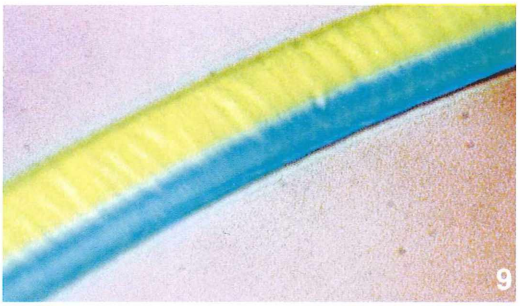
Abb. 5–8: ***Cynanchium vincetoxicum*****, Haare von reifen Samen. –**

Abb. 5: Samenhaarbasis. Zell-Lumen teilweise noch mit Luft gefüllt. Verdickte Zellwand in der Konkavseite. Vergr. 310fach. –

Abb. 6: Haare distal. Zellulosefibrillen achsenparallel. Vergr. 120fach. –

Abb. 7: Haar distal. Zellulosefibrillen achsenparallel, quer dazu feine Ringe. Vergr. 120fach. –

Abb. 8: Mittlerer Bereich eines Haares mit helikaler Textur. Vergr. 300fach.



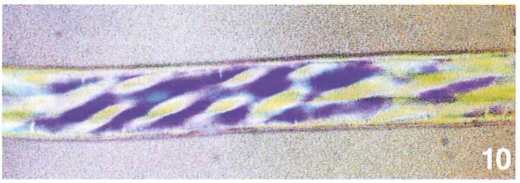


Abb. 9 und 10: ***Pachypodium roselatum*****. –**
Abb. 9: Haarbasis. Röhrentextur auf der Konkavseite, Wandverdickung auf der Konvexseite. Vergr. 310fach. –
Abb. 10: Mittlerer Bereich eines Haares mit helikaler Zellwandtextur. Vergr. 370fach.

stand von einem strahligen Haarkranz gekrönt, der eine Art Fallschirm bildet (Abb. 4). Wenn es feucht ist, legen sich die Haare wieder ein bisschen zusammen. Aus dem Fallschirm wird ein Pinsel.

Bei reifen Samen sind die Haare nicht kollabiert, sondern mit Luft gefüllt (Abb. 5). Die distalen Bereiche der Samenhaare haben eine Fasertextur (Abb. 6): Die Zellulosefibrillen verlaufen etwa achsenparallel. Dabei ist eine Seite des Haares leistenartig verdickt (Abb. 7). Eigenartiger Weise ist das sonst homogene Erscheinungsbild des Haares im Polarisationsmikroskop durch quer zur Längsachse verlaufende, feine Ringe unterbrochen, die eine der Haarachse entgegengerichtete Doppelbrechung haben. Das Haar in Abbildung 7 liegt in Subtraktionslage, die Ringe in Additionslage.

An der Haarbasis ist die verdickte Leiste besonders mächtig (Abb. 5). Sie liegt auf der konkaven Seite des hier gebogen Haares und ist so stark doppelbrechend, dass eine Bestimmung des optischen Charakters mit dem Gipsplättchen meist nicht möglich ist. In den weniger stark verdickten Wandbereichen verlaufen die Zellulosefibrillen mehr oder weniger quer zur Längsachse. Hier liegt eine Röhrentextur vor.

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

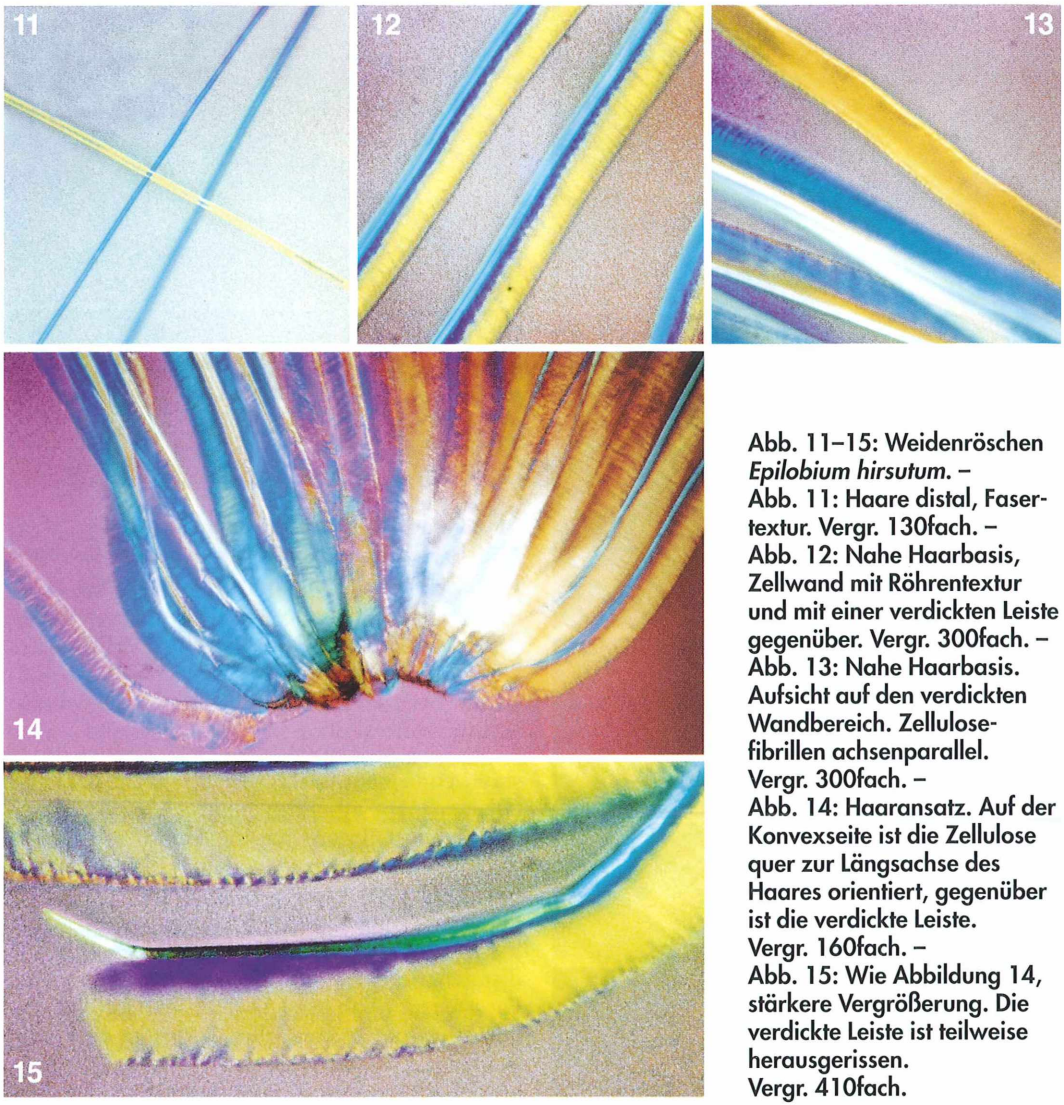


Abb. 11–15: Weidenröschen *Epilobium hirsutum*. – Abb. 11: Haare distal, Fasertextur. Vergr. 130fach. – Abb. 12: Nahe Haarbasis, Zellwand mit Röhrentextur und mit einer verdickten Leiste gegenüber. Vergr. 300fach. – Abb. 13: Nahe Haarbasis. Aufsicht auf den verdickten Wandbereich. Zellulosefibrillen achsenparallel. Vergr. 300fach. – Abb. 14: Haaransatz. Auf der Konvexseite ist die Zellulose quer zur Längsachse des Haares orientiert, gegenüber ist die verdickte Leiste. Vergr. 160fach. – Abb. 15: Wie Abbildung 14, stärkere Vergrößerung. Die verdickte Leiste ist teilweise herausgerissen. Vergr. 410fach.

Weiter oberhalb der Haarbasis ist die Textur helikal (Abb. 8), was man gelegentlich auch direkt sehen kann (Uphof und Hummel, 1962).
An der Haarbasis stehen also der Verdickungsleiste, deren Zellulosefibrillen wohl auch hier achsenparallel verlaufen, Wandbereiche gegenüber, in der die Zellulose lockerer gepackt und mehr oder weniger quer zur Längsachse orientiert ist. Bei Wasserzutritt quillt und beim Trocknen entquillt die Verdickungsleiste in Längsrichtung nicht, wohl aber die Wandteile mit Röhrenstruktur (Zimmermann, 1883). Das ist die strukturelle Grundlage der hygroskopischen Bewegung: Bei Nässe bündeln sich die Haare, bei Trockenheit strahlen sie auseinander und bilden einen Fallschirm.
Verwandt mit dem Schwalbenwurz ist *Pachypodium roselatum*, eine tropische Apocynacee. Sie hat ähnliche Samenhaare. Die Verdickung des Haares auf der Konkavseite mit Fasertextur und den gegenüberliegenden, dünneren Wandbereichen mit Röhrentextur ist nahe der Haarbasis besonders deutlich (Abb. 9). Hier läuft die hygroskopische Bewegung ab. Weiter distal ist die Textur helikal (Abb. 10). Hier ist das Haar steifer und unbeweglicher.
Die Oberfläche der Haare der Seidenpflanzen ist glatt, deshalb auch der Seidenglanz. Sie las-

sen sich daher nicht verspinnen, sondern nur als Polstermaterial verwenden. Wasser nehmen sie nicht oder nur schlecht auf. Sie wurden darum als Füllung von Rettungsringen verwendet – bevor die Styropor-Ära einsetzte.

Die Samenhaare von Weidenröschen (Epilobium)

Die Samen von Weidenröschen reifen in länglichen Kapseln. Sie sind klein und tragen einen Schopf weißer, mit Luft gefüllter Samenhaare. Die stehen bei Trockenheit steif strahlig ab und legen sich bei Nässe wieder etwas zusammen, ohne jedoch dann ganz so dicht gebündelt zu sein wie noch in der Kapsel.
Die Samenhaare haben im distalen Bereich Fasertextur: Die Zellulose ist achsenparallel orientiert (Abb. 11) und die Zellwand gleichmäßig dick. Hier gibt es ja auch keine hygroskopische Bewegungen und die Haare sind in diesem distalen Bereich gerade. Weiter proximal sind die Haare leicht gebogen und auf der konkaven Seite verdickt. Nahe der Haarbasis haben die unverdickten Teile der Zellwand fast eine Röhrentextur mit quer zur Haarachse



Abb. 16: Same/Teilfrucht des Reiherschnabels *Erodium gruinum* (Foto: Botanik, Universität Karlsruhe, www.knoch1.de).

verlaufender Zellulose (Abb. 12). Wo hier die verdickten Wandbereiche nicht zu stark doppelbrechend sind, erkennt man, dass die Zellulose in ihnen achsenparallel orientiert ist. In Abbildung 13 blickt man auf den verdickten Wandbereich in Aufsicht. Er nimmt fast die ganze Breite des Haares ein und erscheint gelb. Das zeigt die achsenparallele Orientierung der

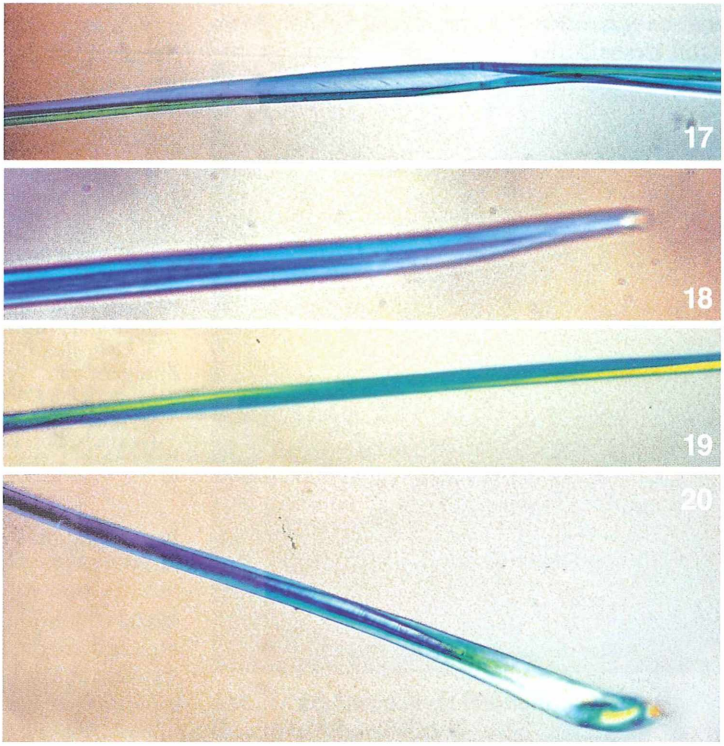


**Abb. 17–20: *Pelargonium trutelorum*. –
Abb. 17: Kollabiertes Haar, mittlerer Bereich. Vergr. 160fach. –
Abb. 18: Haarspitze. Das Zell-Lumen ist gut erkennbar. Zellulosetextur helikal. Vergr. 380fach. –
Abb. 19: Kollabiertes Haar, mittlerer Bereich. Die entstandene Falte ist verdreht. Sie täuscht eine Wandverdickung vor. Vergr. 160fach. –
Abb. 20: Haarbasis. Vergr. 160fach.**

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

Zellulosefibrillen an. Der dünnere Teil der Zellwand ist überdeckt. Im benachbarten Haar ist er im Profil zu sehen und erscheint blau: Die Zellulose hat hier Röhrentextur.
Die Wandstruktur an den Haarbasen (Abb. 14) erklärt, warum sich die Haare bei Feuchtigkeit zusammenlegen. In den Wandbereichen auf der Konvexseite verlaufen die Zellulosefibrillen quer zur Längsachse des Haares. Hier quillt oder entquillt die Wand stärker als auf der Konkavseite (siehe auch Zimmermann, 1883). Diese Textur ist in Abbildung 15 noch deutlicher zu erkennen. Hier ist auch die Wandverdickung auf der Konkavseite etwas herausgerissen und deshalb noch besser sichtbar.

Die Samenhaare von Pelargonien und vom Reiherschnabel

Beim einheimischen Reiherschnabel *Erodium cicutarium* und bei den verwandten, als Balkonpflanzen geschätzten Geranien (Arten der Gattung *Pelargonium*) ist der Apex des Samens (eigentlich ist er eine Teilfrucht) in eine lange Granne ausgezogen, die sich aus dem Griffel entwickelt hat. Der mittlere Teil der Granne dreht sich bei Trockenheit korkenzieherartig auf und streckt sich bei Feuchtigkeit. Man kann deshalb den Samen als Hygrometer benutzen. Beim Reiherschnabel hat der Bereich zwischen dem eigentlichen Samen und dem unteren Teil des Korkenziehers eine Krause aus feinen Härchen (Abb. 18). Bei den Balkon-Pelargonien sitzt diese Krause im unteren Teil des Korkenziehers. Die Haare sind einzellig und werden hier bis 10 mm lang.
Die Haare sind nicht mit Luft gefüllt, sondern kollabiert und unregelmäßig leicht verschrumpelt. Sie erscheinen im Mikroskop deshalb breiter oder schmaler, je nachdem wie sie zusammengefallen sind (Abb. 16). Distal sind sie dünn und das Zell-Lumen ist noch erkennbar (Abb. 18). Hier haben die Wände eine helikale Textur, so auch etwas weiter subapikal. In der Mitte sind die Haare scheinbar einseitig verdickt. Das wird aber vorgetäuscht durch eine Falte, die sich beim Kollabieren des Haares bildet und die dann in Kantenansicht wie eine Verdickung aussieht (Abb. 19). Diese Falte ist so stark doppelbrechend, dass sie in dieser Kantenansicht mit dem Gipsplättchen nicht analysiert werden kann. Sie ist oft leicht verdreht. Die Zellwandbereiche neben ihr zeigen, dass auch in der Falte die Zellulosefibrillen helikal verlaufen.
Über der Haarbasis sind in den dünneren Wandbereichen die Zellulosefibrillen mehr oder weniger quer zur Haarachse orientiert (Abb. 20). Die Haarbasis selbst ist in ihren meisten Teilen so stark doppelbrechend, dass klare Aussagen über die Wandtextur nicht möglich sind. Die Wände sind sicherlich hier so konstruiert, dass sich die Haare an den Griffel anlegen, wenn sie feucht sind, und abspreizen, wenn sie trocken sind.

Flughaare an Früchten, ihre Wandtextur und ihre darauf beruhenden hygroskopischen Bewegungen werden im zweiten Teil vorgestellt.

Danksagung

Der Botanische Garten der Universität Heidelberg hat mich mit Material versorgt. Dafür danke ich.

Literaturhinweise

Franke, W.: Nutzpflanzenkunde, 3. Auflage. Thieme Verlag, Stuttgart 1985.
Hildebrand, F.: Ueber die Entwicklung der haarigen Anhängsel an Pflanzensamen. Bot. Ztg. 30, 257–270 (1872).
Uphof, J. C. T., Hummel, K.: Plant hairs. Handbuch der Pflanzenanatomie, begründet von K. Linsbauer, Bd. IV, Teil 5. Gebrüder Bornträger, Berlin-Nikolassee 1962.
Werker, E.: Seed anatomy. Handbuch der Pflanzenanatomie, begründet von K. Linsbauer, Bd. X, Teil 3. Gebrüder Bornträger, Stuttgart 1997.
Zimmermann, A.: Molecular-physikalische Untersuchungen. I. Ueber den Zusammenhang zwischen Quellungsfähigkeit und Doppelbrechung. Ber. Deutsch. Bot. Ges. 1, 533–540 (1883).

Verfasser: Prof. Dr. Eberhard Schnepf,
Jaspersstraße 2-O/418, 69126 Heidelberg

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

Ein neues „altes" Kittmittel für die Dünnschliffherstellung

Holger Schimmel

Für die Herstellung von Gesteinsdünnschliffen ist das Aufkitten der zu schleifenden Probe auf den Objektträger ein fundamentaler Schritt und die Qualität des verwendeten Kittmittels bestimmt nicht unmaßgeblich die Qualität des Präparats sowie die technischen Möglichkeiten der Weiterverarbeitung.

Der seit dem 19. Jahrhundert für diesen Zweck verwendete Kanadabalsam ist in der professionellen Präparatorenpraxis weitgehend von reaktiven Kittmitteln auf Epoxid- oder Acrylatbasis verdrängt worden. Ausschlaggebend hierfür dürfte die nicht unproblematische Verarbeitung des Materials gewesen sein: Um auszuhärten, muss der Balsam vorsichtig erhitzt, jedoch keinesfalls überhitzt und nach Möglichkeit auch nicht „unterkocht" werden. Im ersten Fall dunkelt er nach und wird spröde, im zweiten Fall härtet er nicht zu einer schleifbaren Masse aus. Als Vorteil erweist sich die kurze Prozessdauer, wodurch eine mit Kanadabalsam aufgekittete Probe nach dem Abkühlen ohne weiteren Zeitverlust weiter bearbeitet werden kann.

Um die oben genannten Nachteile zu überwinden und die Vorteile beizubehalten, wurden thermoplastische Kittmittel wie Lakeside 70C oder Kollolith entwickelt, doch sind diese recht teuer und oft nur mit Mühe (Kollolith gar nicht mehr) erhältlich. Für Lakeside 70C ergibt sich zusätzlich eine gewisse Inkompatibilität mit organischen Lösungsmitteln, welche nach den Erfahrungen des Autors in abgedeckten Präparaten, die mit diesem Material hergestellt wurden, häufig zu unerwünschten Kristallbildungen führte.

Herstellung des Kittmittels

Im Folgenden wird daher ein thermoplastisches Kittmittel vorgestellt, welches im nativen Zustand fest und relativ unempfindlich gegen Überhitzung ist. Zudem ist es auch als flüssiges Einschlussmittel für fertige Schliffpräparate verwendbar und kann ohne großen Aufwand vom Mikroskopiker selbst hergestellt werden.

Das Mittel besteht aus einer Mischung aus zwei Gewichtsteilen Schellack, einem Gewichtsteil Kolophonium und einem Gewichtsteil Lärchenterpentin. Die Zusammensetzung wurde ursprünglich als Basis für Kittmittel in der Edelsteinschleiferei beschrieben (Fischer, 1998), erweist sich jedoch auch für Dünnschliffzwecke als geeignet, wenn man die für den ursprünglichen Zweck erforderlichen Füllstoffe weglässt.

Zur Herstellung werden zunächst Schellack (wachsfrei, gebleicht) und Kolophonium (hellste Qualität) in einem Becherglas auf einer Heizplatte, gegebenenfalls unter Zwischenschaltung eines Sandbads, möglichst vollständig zusam-



Abb. 1: Edelsteinkitt als Feststoff (rechts) und Lösung in Äthanol (links).

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

mengeschmolzen (auf ausreichende Lüftung des Arbeitsplatzes ist zu achten), bevor der Terpentin in der Wärme zugegeben wird. Die vollständig verflüssigte Mischung wird einige Zeit in der Wärme gerührt, um flüchtige Bestandteile zu entfernen, und dann in geeignete Formen (z. B. aus Aluminiumfolie gefaltet) gegossen und abkühlen lassen. Nach dem Erkalten erhält man einen honiggelben, stark glänzenden, nicht völlig blasenfreien Regulus (Abb. 1).
Vereinfachen lässt sich das beschriebene Herstellungsverfahren, indem auf eine kommerziell erhältliche Mischung aus Lärchenterpentin und Kolophonium (bei der Firma Kremer Pigmente unter der Bezeichnung „Venetianer Terpentin" erhältlich) zurückgegriffen wird. Ein Gewichtsteil dieser Mischung wird wie oben beschrieben in einen Gewichtsteil geschmolzenen Schellack eingerührt.

Verwendung des Kittmittels

Das fertige Material wird auf dieselbe Weise wie die bekannten thermoplastischen Bindemittel verwendet: Objektträger und aufzukittende Probe werden erwärmt (am einfachsten auf einer Heizplatte) und ein Stück des festen Kitts wird auf die erwärmten Flächen gedrückt, bis eine hinreichende Menge geschmolzen ist. Dann wird die Probe auf den Objektträger gelegt, angedrückt und erkalten lassen. Die Mischung neigt stärker als Kanadabalsam zur Ausbildung winziger Luftblasen in der Klebefläche, doch verschwinden diese normalerweise nach dem Eindecken des fertigen Schliffs vor dem endgültigen Aushärten. Größere Luftblasen werden wie üblich während des Aufkittvorgangs durch Anwendung von Druck in der Wärme weitgehend aus der Klebefläche entfernt. Wenn sich aus dem verflüssigten Kitt weiße Dämpfe entwickeln, ist die Verarbeitungstemperatur zu hoch gewählt und sollte reduziert werden.
Die mechanischen Eigenschaften des Kittmittels erlauben die Weiterverarbeitung mittels Flachteller-Schleifmaschine bei nicht zu hohen Drehzahlen auch für hartes, kompaktes Probenmaterial (etwa Kieselhölzer), welches bei Verwendung von Kanadabalsam aufgrund der hohen Belastung zur Ausbildung von Rissen in der Klebefläche neigt.
Der Brechungsindex des Gemischs im fertigen mikroskopischen Präparat liegt unter dem von Kanadabalsam. Beispielhaft werden in Abbildung 2a und b zwei Proben desselben Gesteins (quarzhaltiges Bohnerz) bei identischen Beleuchtungsverhältnissen und geschlossener Aperturblende gezeigt: Die Quarze in der mit Edelsteinkitt hergestellten Probe zeigen ein stärkeres Chagrin als die in der Kanadabalsam-Vergleichsprobe und die Bruchkante der Quarzkörner am äußeren Rand des Schliffs hebt sich im Edelsteinkitt viel deutlicher gegen das Einschlussmittel ab. Beim Senken des Mikroskoptubus wandert die Becke-Linie deutlich in das Einschlussmittel. Eine exakte numerische Be-

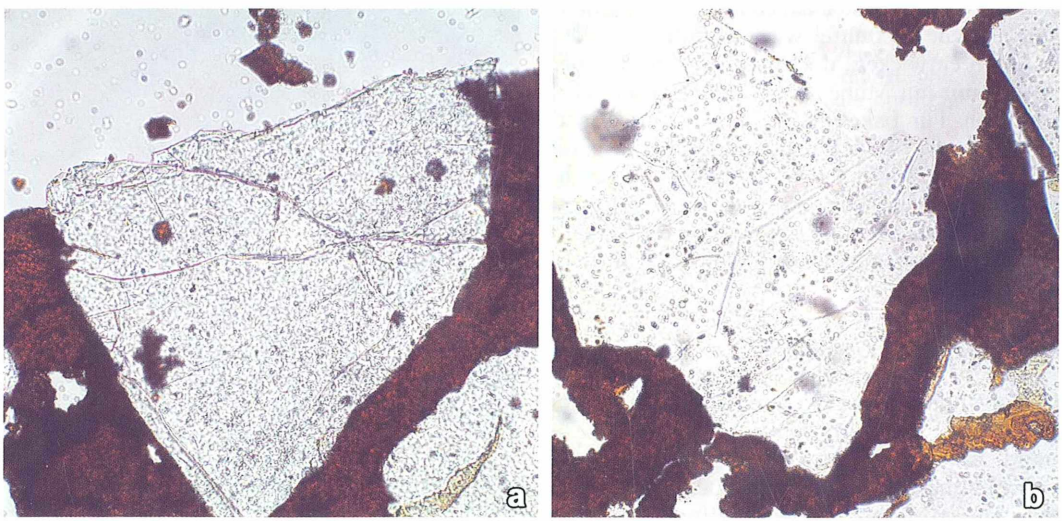


Abb. 2: Unterschiedlicher Brechungsindex von Edelsteinkitt (2a) und Kanadabalsam (2b), dargestellt an Quarzkörnern im eingedeckten Schliffpräparat.

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

stimmung des Brechungsindex wurde nicht vorgenommen.
Aufgrund des hohen Gehalts an Schellack ist die Mischung nicht in Xylol löslich, worauf beim Eindecken des fertigen Präparates zu achten ist. Man erhält jedoch auf einfache Weise ein kompatibles flüssiges Einschlussmittel, indem man die bei der Herstellung im Becherglas verbleibenden Schmelzrückstände mit wenig warmem Äthanol herauslöst und im Balsamglas aufbewahrt. Das Mittel härtet unter dem Deckglas innerhalb von zwei bis drei Tagen weitgehend aus.

Literaturhinweis

Fischer, K.: Edelsteinbearbeitung, Band 1. Rühle-Diebener-Verlag, Stuttgart 1998.

Verfasser: Dr. Holger Schimmel, Mühlgasse 9A, 85748 Garching

Kurze Mitteilung

Die Geburt einer Kernpore

Wenn Zellen in den Zellzyklus eintreten, um sich auf eine Teilung vorzubereiten, dann gelangen sie in die so genannte Synthese-Phase (S-Phase), in der die Desoxyribonukleinsäure (DNA) verdoppelt wird. Die DNA liegt, als Chromatin verpackt, im Zellkern vor und wenn sie sich verdoppelt, muss der Zellkern notwendigerweise größer werden. Wie man bereits in den 1970er Jahren beobachtete, nimmt dabei auch die Anzahl der Kernporen zu. Dies sind aus vielen Proteinen zusammengesetzte, komplexe Perforationen in der Kernmembran, durch die der gesamte Transport an Molekülen zwischen dem Zytoplasma und dem Kerninnenraum bewerkstelligt wird. Wie die Etablierung neuer Kernporen genau erfolgt und von welchen Faktoren dies abhängt, war bis vor kurzem rätselhaft.
Neues Licht in dieses Dunkel bringt eine Arbeit von Friedericke Vollmar et al. (2008) publiziert im Journal of Cell Science. In dieser Arbeit wird zunächst ein in vitro System beschrieben, mit dessen Hilfe sich um isoliertes Chromatin eine doppelte Membran legen lässt, die einer Kernmembran entspricht, aber keine Poren enthält. Hierzu wird das Chromatin mit einer isolierten Zytosolfraktion und einer bestimmten Membranfraktion aus Eiern des Krallenfrosches *Xenopus* gemischt. Gibt man in einem zweiten Schritt eine andere Membranfraktion dazu, bilden sich Kernporen aus. Die Trennung von Kernmembranausbildung und Etablierung von Kernporen machte es möglich, in der zweiten Membranfraktion gezielt nach Faktoren zu suchen, die für die Porenbildung entscheidend sind.
Mit diesem experimentellen System identifizierten die Autoren das so genannte major vault protein (MVP) als hinreichenden Faktor für die Induktion einer Kernporenbildung und schlugen damit eine Brücke zu einem hochmolekularen zellulären Partikel, der erstmals 1986 beschrieben wurde. Die elektronenmikroskopische Darstellung dieses Partikels offenbarte eine fassartige Struktur, die jeweils an den Stirnseiten mit einer Art Kappe verschlossen ist. Biochemisch handelt es sich um ein Ribonukleoproteinteilchen, also um ein Aggregat aus Ribonukleinsäure (RNA) und Proteinen. Die Moleküle pro Aggregat stehen in einem festen stöchiometrischen Verhältnis zueinander, wobei auf sechs RNA-Moleküle 96 MVP-Moleküle kommen, sowie zwei TEP1- und acht VPARP-Moleküle. Diese Komponenten ergeben eine komplexe und symmetrische Struktur, welche die Erstbeschreiber an die Architektur gotischer Kathedralen erinnerte, was zu der Bezeichnung Vault (engl.: das Gewölbe) führte. Die Ausbildung dieser Struktur erfolgt durch Selbstorganisation der MVP-Moleküle. Vaults waren in der Vergangenheit funktionell in Zusammenhang gebracht worden unter anderem mit der Resistenz gegen verschiedene zellaktive Substanzen (multidrug resistence), mit der angeborenen Immunabwehr oder mit der Signalweiterleitung in Zellen, ohne dass der genaue Zusammenhang klar war. Die hier vorgestellte Publikation zeigt an einem neu entwickelten in vitro System die Funktion von Vaults bei der Ausbildung von Kernporen und trägt damit wesentlich zum Verständnis dieses Prozesses und der Funktion von Vaults bei.

Literaturhinweis

Vollmar, F., Hacker, Ch., Zahedi, R. P., Sickmann, A., Ewald, A., Scheer, U., Dabauvalle, M. Ch.: Assembly of nuclear pore complexes mediated by major vault protein. J. Cell Sci. 122, 780–786 (2008).

Hans-Peter Elsässer, Marburg

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

Nachricht

Forum Mikroskopietrends 2009 – Makro-Mikro-Nano

Betrachtung und Kombination unterschiedlicher Dimensionen

Seit 2002 kommen beim Forum Mikroskopietrends jährlich Wissenschaftler und Entwickler zur Diskussion aktueller Mikroskopiekonzepte zusammen. Das Forum Mikroskopietrends ist eine etablierte Kontakt- und Diskussions-Plattform der deutschen Mikroskopieszene mit anerkannter hoher inhaltlicher Qualität. Es wird von PhotonicNet, dem niedersächsischen Kompetenznetz für Optische Technologien, in Kooperation mit den beiden deutschen Geräteherstellern Leica Microsystems CMS GmbH und Carl Zeiss MicroImaging GmbH ausgerichtet.

Superresolution oder Hochauflösung sind die aktuellen und spannenden Schlagworte in der Mikroskopie. Neue Techniken erlauben heute der Fluoreszenzmikroskopie mit sichtbarem Licht in Bereiche der Nanometerskala vorzudringen, die bisher allein von Elektronen- oder Kraftmikroskopen erreicht werden konnten. Da die Betrachtung lebender Zellen in räumlicher Tiefe weiterhin der Lichtmikroskopie vorbehalten bleibt, bietet das erhöhte Auflösungsvermögen neue Einblicke in bisher nicht sichtbare Dimensionen.

Der Geschäftsführer der Leica Microsystems CMS GmbH, Dr. S. Traeger, machte in seinen Begrüßungsworten zum diesjährigen Forum in Wetzlar deutlich, dass die dimensionsübergreifende Betrachtung lebender Zellen in der Forschung eine zentrale Rolle für die Entwicklung zukünftiger Trends spiele. Er forderte, bereits etablierte Techniken mit neuen zu verknüpfen, um so die Darstellung und Kombinationen in den Bereichen Makro, Mikro und Nano zu verbessern.

Das Mikroskopieforum stellte unter dem Titel „Makro-Mikro-Nano" die unterschiedlichen Auflösungsbereiche moderner Mikroskope, deren erweiterte Funktionsweisen und Anwendungen vor. Die betrachteten Größenordnungen reichten von makroskopischen Dimensionen, wie sie mit dem Vortrag „Large Scale Confocal Imaging" von Peter Sendrowski (Leica Mikrosystems) präsentiert wurden, bis auf die molekulare Ebene. Prof. Sigrist (Institut für Biologie, Freie Universität Berlin) und Herr Kobler (Leibnitz-Institut für Neurobiologie, Magdeburg) stellten Untersuchungen von synaptischen Strukturen mit der STED-Mikroskopie vor (STED = Stimulated Emission Depletion). Eine detaillierte Schilderung der STED-Mikroskopie sowie aktuelle Forschungsinhalte waren Thema des Vortrags von Dr. L. Kastrup (MPI, Göttingen). Dr. E. Krause vom



Abb. 1: Dr. Traeger eröffnet das Forum.

Physiologischen Institut der Universität des Saarlandes stellte die Umsetzung einer Hochauflösungsmikroskopie mit einem kombinierten SIM/PALM/TIRF-Mikroskop vor (SIM = 3D Structured Illumination Microscopy, PALM = Photoactivation Localization Microscopy, TIRF = Total Internal Reflection Fluorescence Microscopy). Die Anwendung der SIM-Mikroskopie und die Gegenüberstellung der Ergebnisse mit einem Serial Block-Face Scanning Electron Microscope wurden anschließend von Dr. J. Rietdorf (Friedrich Miescher Institut, Basel) gezeigt. Neben der visuellen Darstellung und Auswertungen der Informationen in den unterschiedlichen Skalenbereichen wurden in dem Vortrag „Sub-20 Femtosekunden-Lasermikroskopie zur Herstellung von sub-100 nm Strukturen" von Prof. K. König von der Jenlab GmbH neue Technologien zur Manipulation beziehungsweise Herstellung mit Techniken der Mikroskopie vorgestellt. Grundsätzliche Anforderungen und Lösungsansätze für die Umsetzung multimodaler Mikoskopiesysteme wurden von Dr. R. zur Nieden der Carl Zeiss Imaging Solution GmbH diskutiert.

Dieses sind nur einige Anwendungsbeispiele für die sich rasch entwickelnde, moderne Lichtmikroskopie. Das jährlich stattfindende Forum Mikroskopietrends ermöglicht einen Überblick über die aktuellen Entwicklungen. Ende 2010 ist das Forum in Göttingen geplant. Nähere Informationen finden Sie ab Herbst 2010 auf www.photonicnet.de.

Redaktion MIKROKOSMOS

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

Das Mikroskop als Bildungsgegenstand des 18. Jahrhunderts

Jürgen Hartwig Ibs

Das Mikroskop gehört heute wie selbstverständlich zum Bildungsrepertoire für Jugendliche. Sachbücher etwa aus der Reihe *Was ist Was* vermitteln Kindern Kenntnisse über *Das Mikroskop (Bd. 8)*. Ebenso gehören Experimentierkästen (Kosmos Mikromann) oder so genannte Kaufhausmikroskope mit entsprechendem Zubehör zu den gängigen Weihnachts- und Geburtstagsgeschenken; sie sollen zu praktischen Beobachtungen und Versuchen anregen. Beides, sowohl Sachbücher als auch Lehrmaterial mit einfachem Mikroskop, sollen junge Menschen an die Naturwissenschaften, vornehmlich an die Biologie, heranführen. Manch älterer Mikroskopiker hat mit solchen Büchern und vor allem Experimentierkästen seine Leidenschaft entdeckt. Eine Sache unserer Zeit möchte man meinen, doch reicht die Beschäftigung mit dem Mikroskop als Bildungsgegenstand weit in die Geschichte zurück.

Schon seit etwa 1750 sollen in Nürnberg so genannte Spielzeugmikroskope aus Holz und Pappe hergestellt worden sein. Von hier kamen auch preisgünstige Mikroskope für den Liebhabermikroskopiker (Kambeck, 2009). Triebkraft für den Einsatz des Mikroskops in der Bildung war die Aufklärung, die im 17. und 18. Jahrhundert das Interesse der Öffentlichkeit an Wissenschaft und Bildung weckte. Sie führte auch zur Modernisierung des Jugendbuchs. Seit dem 17. Jahrhundert druckte man Bilderbücher in höherer Auflage. Einen ersten Höhepunkt der Gattung bildete der 1658 erstmals erschienene *Orbis sensualium Pictus* von Johann Amos Comenius, der über 240 Mal aufgelegt wurde. In Comenius' Realpädagogik spielte die Anschauung eine wichtige Rolle. Holzschnitte und beigegebene Texte vermittelten bei ihm die Natur-, Sach- und Gesellschaftskunde.

Im 18. Jahrhundert wurde die Form weiter entwickelt. Auch die erste reformpädagogische Bewegung in Deutschland, die Philanthropen, bedienten sich des Bilderbuches. Sie wollten nicht nur die Schule, sondern allgemein die Erziehung reformieren. Zu den führenden Vertretern gehörten Johann Bernhard Basedow als Vorreiter der Bewegung, Christian Gotthilf Salzmann, erster Inhaber eines pädagogischen Lehrstuhls in Deutschland, dem nicht nur die Schulpädagogik, sondern auch die Familienpädagogik am Herzen lag, und nicht zuletzt Johann Heinrich Campe, der unter anderem viel beachtete Schriften für Kinder und Jugendliche veröffentlichte. Es waren vom Ursprung her Theologen, die ihre Erziehungsgrundsätze an der Aufklärung orientierten. Ihr Ziel war es, die jungen Menschen durch eine kindgerechte Pädagogik für ein tugendhaftes und nützliches Wirken in der damaligen ständischen Gesellschaft zu erziehen. Zu ihren umfassenden, enzyklopädischen Bildungszielen gehörte auch der Unterricht in Realien wie der Naturkunde. Dabei verfolgten sie einen anschaulichen Unterrichtsstil und entwickelten entsprechend ausgestattete Schul- und Jugendbücher. Berühmt wurde das *Elementarwerk* Basedows, das 1770–1774 erschien. Die meisten Kupferstiche steuerte Daniel Chodowiecki bei, der bedeutendste Kupferstecher seiner Zeit. Das Elementarwerk umfasst insgesamt 96 Bildtafeln, die in Texten erläutert wurden. Dieses Werk wurde zum Vorbild vieler folgender Bilderbücher und bildete das Beispiel für eine Didaktik, zu deren wesentlichen Mitteln das Bild und die Anschauung gehören. Zu den berühmtesten Nachahmern des Elementarwerks zählt Friedrich Johann Justin Bertuchs *Bilderbuch für Kinder* in 12 Bänden (1790–1830) (Danelzik-Brüggemann, 1998; Deutsches Museum, 2009).

Ein früher Bewunderer und Nachahmer Basedows war Johann Siegmund Stoy, der 1780 bis

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

1784 seine *Bilder-Akademie für die Jugend* edierte. Zu den Künstlern seines Werks zählen Daniel und Carl Christian Chodowiecki, Johann Georg Penzel und Johann Schellenberg, die zum Teil auch die Stiche selbst herstellten. Stoy erweckt unserer Interesse, weil er Mikroskope, darunter ein größeres zusammengesetztes Mikroskop, zu Bildgegenständen erhebt und nicht wie die anderen zeitgenössischen Bilderbuchautoren nur die Ergebnisse der Mikroskopie, also die Zeichnungen mikroskopischer Objekte.

Er bedient sich dabei unter anderem einer Quelle, die das Mikroskop nicht mit Hilfe eines Bildes vermitteln will, sondern als praktischen Bildungsgegenstand für die Jugend empfiehlt. Es handelt sich um den Katalog optischer Geräte des sächsischen Optikers Joachim Friedrich Meyen aus dem Jahr 1747, in dem auch Mikroskope abgehandelt sind. Meyen steht damit an einem recht frühen Punkt der Tradition, die das Mikroskop als Lehrmaterial benutzt. Es bietet sich ein Vergleich von Stoy und Meyen an, der unterschiedliche Sichtweisen des Mikroskops als Bildungsgegenstand im 18. Jahrhundert herausarbeiten soll, zumal sich Stoy zwar unausgesprochen, doch unübersehbar auf Meyen bezieht.

Joachim Friedrich Meyen (1707–1772)

Meyen war von Haus aus Jurist, betätigte sich aber nach eigenem Bekunden als Optiker, nachdem ihm der sächsische Kurfürst und polnische König, dem er einige Vergrößerungsgläser gezeigt hatte, dazu geraten hatte. 1747 veröffentlichte er die Schrift *Kurzer Unterricht von der Beschaffenheit und dem Gebrauch der Vergrößerungsgläser und Teleskopie*. Es handelt sich um einen Katalog der optischen Geräte, die Meyen vertrieb, das waren Lupen, Mikroskope, Teleskope usw.

Meyen zielt in der Werbung für seine optischen Instrumente auch auf die Jugend. Er beruft sich bei seinem Vorhaben auf die damals in der Wissenschaft führenden Nationen England, Holland und Frankreich, da man dort *in der ersten Jugend zu dem Gebrauch der Vergrößerungsgläser anleitet, die ihnen die Schönheit der Natur entdecken, und sie für allerhand schädlichen Vorurtheilen bewahren*. Er verfolgt also neben dem ästhetischen auch naturkundliche Ziele und kann schon darauf verweisen, dass *auch in unseren Landen […] es nicht an Leuten, die ein Vergnügen daran finden, die Werke der Natur in denen Theilen kennen zu lernen, die unseren blossen Augen unsichtbar sind*, fehlte. Mit dem Verweis auf herrschende Vorurteile, welche die Jugend meiden soll, bekennt er sich ausdrücklich zur Aufklärung, die in Deutschland ihre wesentlichen Anstöße ja aus den genannten Ländern erhielt.

Um seine Ansicht über den Nutzen des Mikroskops zu untermauern, zitiert Meyen die Diskussion um die Urzeugung, die durch mikroskopische Erkenntnisse widerlegt sei. *Selbst die grössesten Weltweisen glaubten im vorigen Jahrhundert die Erzeugung aus der Fäulniß, da nemlich eine leblose, auch wohl faule flüssige Materie, im Stande wäre, etwas lebendiges hervorzubringen. Nachdem man sich aber der Vergrößerungsgläser bedienet: finden wir, daß die zur Erzeugung unentbehrlichen Materien*

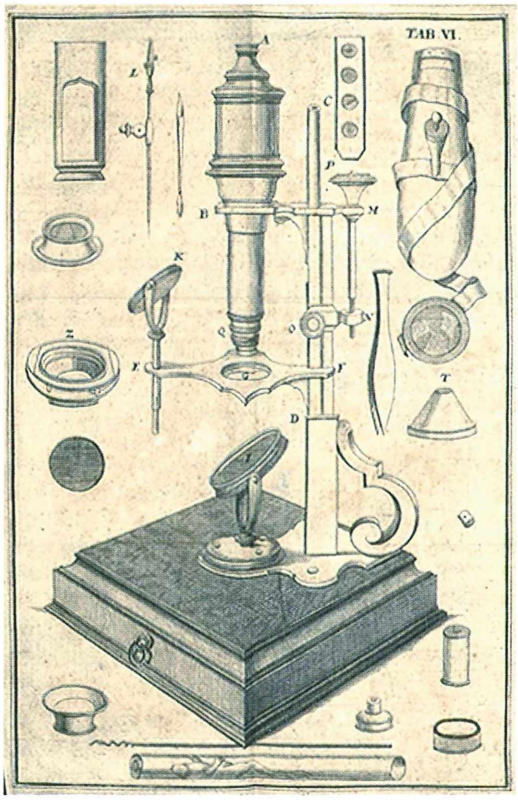


Abb. 1: J. F. Meyen, Tab. VI, Neues zusammengesetztes Mikroskop, verfertigt von Sterrop (Quelle: Service de la documentation University of Strasbourg – Digital old books).

sowohl bey denen Pflanzen mit vegetabeln, als auch bey denen Thieren mit animalischen Körpern versehen sind. Meyen bezieht sich hierbei auf Athanasius Kircher (1602–1680), der mit dem Mikroskop vermutlich erstmals auf induktivem Wege Kleinlebewesen in Milch und Essig nachwies, und möglicherweise auch auf Antoni van Leeuwenhoeks (1632–1723) Beobachtungen der Infusorien (zu Kircher und Leeuwenhoek siehe Jahn, 2002).

Im weiteren Text gibt Meyen genaue technische Beschreibungen der von ihm zum Kauf angebotenen Geräte, von den einfachen bis zu den zusammengesetzten Vergrößerungsgläsern beziehungsweise Mikroskopen mit Spiegel. Glanzstück ist ein Mikroskop des englischen Herstellers George Sterrop (1715–1756) (Abb. 1 und 2). Es ist für Durchlicht- und Auflichtmikroskopie geeignet, zudem können Flüssigkeiten in einer kleinen Flasche beobachtet werden, die an das Mikroskop angebracht werden kann. Meyen gibt in seinem Katalog Sterrop fälschlicherweise als Erfinder des neuartigen, von John Cuff (1708–1772) entwickelten englischen Mikroskoptyps aus. Sterrop hatte jedoch nur das Cuff'sche Gerät nachgebaut – eine damals durchaus öfter geübte Praxis. Die falsche Erfinderangabe Meyens wurde von vielen Autoren der Zeit kolportiert (Gerlach, 2009) und stellte das Verdienst Cuffs in den Schatten.

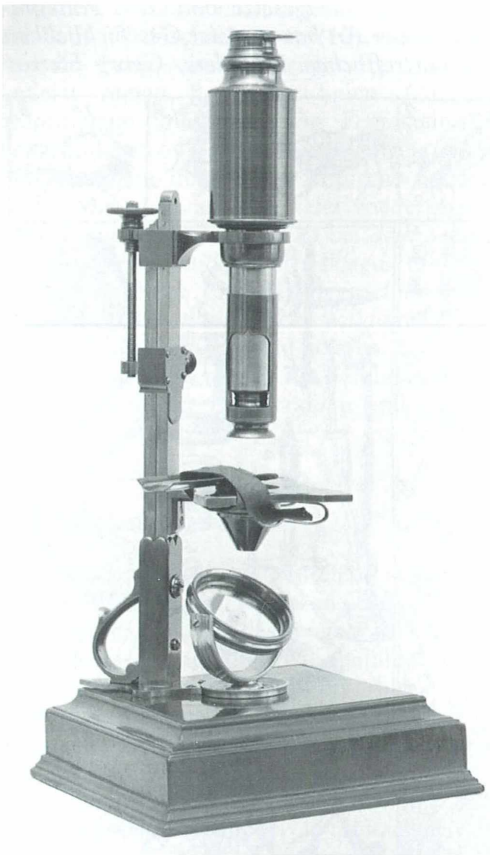


Abb. 2: Mikroskop des Cuff-Typs, von G. Sterrop, um die Mitte des 18. Jahrhunderts (Quelle: Carl Zeiss Archiv).

Im Anschluss an die technischen Beschreibungen gibt Meyen noch Beispiele dafür, was alles durch seine optischen Geräte beobachtet werden kann. Neben Teilen einer Mücke und Spitzen der Kornähre gehören dazu auch Schnitte durch Holz, Brennhaare der Brennnessel und Blut im Blutkreislauf sowie die Lunge in Wassereidechsen, alles gängige Beispiele aus der zeitgenössischen Literatur entnommen.

Meyen geht also von einem sehr naturkundlich-technischen Ansatz aus, um die Jugend mit dem Mikroskop vertraut zu machen. Ihm geht es um Erkenntnisse, die mit seinen Geräten nachzuvollziehen oder gar neu zu gewinnen sind.

Johann Sigmund Stoy (1745–1808)

Stoy war ursprünglich Pfarrer in Henfenfeld, einer kleinen Gemeinde nahe Nürnberg. Während dieser Zeit verfasste er schon Kinderbücher. 1782 gab er sein Pfarramt auf, zog nach Nürnberg und ließ sich den Titel eines Professors der Pädagogik verleihen. Sein Ziel, ein Erziehungsinstitut zu errichten, konnte er nicht erreichen und so eröffnete er schließlich einen Handel mit Lehrmitteln. Damit bedient er einen Markt, der in der Hochzeit der Aufklärung sicher auch einigen Erfolg versprach, denn die gute Erziehung schien vielen unerlässlich, um den Erfolg der eigenen Kinder in der Gesellschaft zu fördern. Mit diesem Lebensweg steht er nicht allein da, auch andere Pastoren der Zeit wandten sich der Erziehung zu (te Heesen, 1997).

Stoy verfasst in seiner Nürnberger Zeit die *Bilder-Akademie*. Er zielte mit seiner Publikation vor allem auf die schulische oder häusliche Erziehung vornehmlich Jugendlicher ab dem 12. Lebensjahr, empfiehlt sein Werk aber auch Erwachsenen als Lektüre. Seinen vielen Illustrationen auf Tafeln (Kupferstiche) sind erläuternde Texte beigegeben. Der Verfasser wollte

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

damit eine Bildenzyklopädie bieten, die das grundlegende Wissen der damaligen Zeit aufbereitet. Zuerst in Buchform erschienen, bot Stoy sein Werk bald auch als *Weltkasten* an. Das ist wörtlich zu verstehen, denn der Kasten enthält die Enzyklopädie wohl geordnet in 468 Bildern auf Pappe aufgezogen (te Heesen, 1997). Moderne Jugendsachbücher kann man in diese Tradition einordnen, auch wenn sie in der Regel nicht mehr wie Stoy alle Dinge der realen und religiösen Welt, neben der Geschichte und Religionsgeschichte unter anderem auch die Physik und das Mikroskop, in die biblische Geschichte einordnen. Am ehesten knüpft die *Was ist Was*-Reihe als Ganzes noch an die enzyklopädische Tradition an, wobei der religiöse Impetus verloren gegangen ist. Moderne Medien wie das Fernsehen und das Internet verfolgen ähnliche Wege, wie die Reihe *Planet Wissen* des WDR mit seiner Webseite www.planet-wissen.de, auf der zum Beispiel die erste Glasrezeptur, die Otto Schott für Ernst Abbe entwickelte, zu finden ist.

Stoy zeigt mit der Tafel XXXIX, die Johann Rudolf Schellenberg gezeichnet und Johann Georg Penzel gestochen hat, neben vielen mikroskopischen Objekten auch einige Lupen und Mikroskope (Abb. 3). Der Tafel wurde ein Text mit dem Titel *Das Mikroscop* beigegeben.

Stoy bezieht sich auf dasselbe zusammengesetzte Mikroskop wie Meyen und gibt es auch als Sterrops Erfindung aus, den er als vortrefflichen Künstlers bezeichnet. Nicht nur dieses Lob ist dabei wörtlich dem Katalog Meyens entnommen. Auch die Abbildung des Sterrop'schen Geräts und einiger anderer einfacher Mikroskope und Lupen stammen daher. Nur sind die von Meyen im wahrsten Sinne des Wortes *abgekupferten* Geräte nicht in annähernd so guter Qualität abgebildet. Das 18. Jahrhundert kannte noch kein Urheberrecht und derlei (oft spiegelbildliche) Übernahmen waren gang und gäbe. Schellenberg hatte die Mikroskoptafel im Auftrag Stoys geschaffen. Dabei pflegte er durchaus einen anderen Stil als Meyens Künstler. Die Stiche wirken verschwommen und zum Teil stimmt die Perspektive nicht. Die Originalgeräte hat Schellenberg wohl nicht gesehen und auch deren Funktion nicht immer verstanden. Jedenfalls mangelt es den von ihm abgebildeten Geräten an Standfestigkeit und die Funktion mancher Griffe und Halterungen bleibt dem Betrachter auch verborgen (Abb. 3, Nr. 1, 5 und 6).

Liest man den Text Stoys, fällt auf, dass er in zwei Teile zerfällt, die nicht recht zusammenpassen. So formuliert er über weite Strecken sehr exakt: *Die einfachen Mikroscope (3.4.5.6.) bestehen nur aus einem einfachen gläsernen Küchelchen (sic!), oder einem convexen Gläschen. Damit man aber die Sache, die man vergrößert sehen will, ganz genau gegen das Glas stellen und dem Auge nach Gefallen näher rücken kann, hat man verschiedene Instrumente, Gläser und Gestelle dazu verfertiget. Zu denselben gehöret das Sonnenmikroscop. (2) Man lässet auf dasselbe, vermittels eines kleinen Spiegels, die Sonnenstrahlen fallen, da sich denn das vor solchem gebrachte Obiect, an der Wand einer verfinsterten Kammer, sehr groß präsentieret.* Über das große Mikroskop fährt der Verfasser im gleichen Stil fort: *Ein zusammengesetztes Mikroskop besteht aus zwey, drey oder vier convexen Gläsern, welche in Röhren zusammengesetzt sind. Das vollkommenste dieser Art hat man der Geschicklichkeit eines vortrefflichen Künstlers, Georg Sterrop*

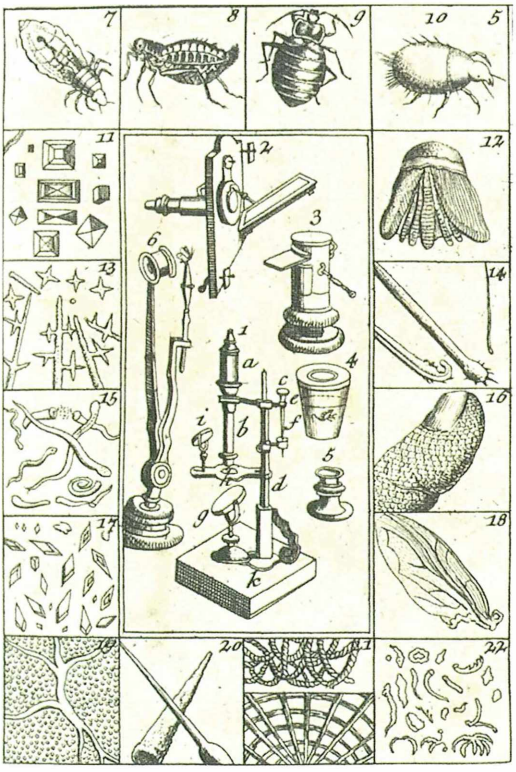


Abb. 3: J. S. Stoy, die XXXIX. Tafel, Das Mikroskop. Kupferstich, s/w , 101 × 67 mm (Quelle: Bibliothek für Bildungsgeschichtliche Forschung).

zu danken. Es ist auf Tafel (1) abgebildet, und besteht aus folgenden Theilen: a b sind drey Röhren von Messing, in denen drey erhaben geschliffene Gläser sind. Diese Röhren genau gegen das Obiect zu stellen, ist die viereckige Stange (c d) mit ihrer Schraube vorhanden. Die Obiecte genugsam zu beleuchten dienet der Spiegel g, den man gegen den Himmel stellen und den Schein deßelben durch h aufs Obiect werfen kann. Auf diese Art werden die durchsichtigen Sachen erleuchtet. Im gleichen Stil fährt der Verfasser fort, um noch die Auflichtfunktion, die Vorrichtung zur Betrachtung von Flüssigkeiten in einem Hohlglas und die Funktion des Holzkastens (k) zur Unterbringung der Utensilien zu erläutern. In weiten Teilen handelt es sich dabei um eine stark gekürzte Fassung des Meyen-Textes.

Ähnlich sachlich werden die Objekte, deren Bilder die Mikroskopabbildungen kranzförmig umgeben, beschrieben. Darunter befindet sich die Laus (7), Fischschuppen (12), die *Schlänglein im Essig*, ein Spinnengewebe mit einer äußerst feinen Brabanter Spitze (21), abgesprungene Stückchen von Feuerstein und Feuerfunken von Stahl (22). Es folgen weitere Betrachtungen über mikroskopische Entdeckungen, die nicht auf der Tafel wiedergegeben sind. Dazu gehört, dass man bei *dem Schmetterlinge 34650, und bey der Fliege 16000 Augen zehlen kann [...] daß der Schimmel auf einem Stück Brod ein dicker Wald von Fruchttragenden Bäumen ist* und so fort. Es werden noch Betrachtungen über die Feinheit und Geschwindigkeit der Lichtstrahlen und über die Käsemilbe angestellt.

Stoys Schlussfolgerungen

Diese Beschreibungen sind durchaus in einem enthusiastischen Ton geschrieben, den man dem Jugendbuchautor, der das junge Publikum zum Mikroskopieren anhalten will, zubilligen kann. Soweit bleibt der Text bis hierhin der Sache angemessen. Der zweite Teil verfolgt jedoch ganz andere Ziele. Stoy verbindet nämlich mit dem Mikroskop keine naturwissenschaftliche Schlussfolgerungen, wie sie auch für Zwölfjährige, seine Zielgruppe, in einfacher Form möglich wären. Zwar bleibt er nicht bei der bloßen Anschauung stehen, zieht aber alles andere als naturkundliche Schlüsse aus dem Gesehenen. Für ihn dienen die Instrumente dazu, *die Wunder Gottes in der kleinen Welt kennen zu lernen – in den kleinsten Geschöpfen, oder den kleinsten Theilen derselben, welche das Auge zu bringen nicht vermag [...].* Man kann solche Sätze nicht als zeittypischen Topos werten, denn in der Schlussbemerkung wird deutlich, dass Stoy die Möglichkeiten, die das Mikroskop bietet, nicht um der Naturkunde willen, sondern nur aus religiösen Gründen schildert. *Die Allmacht Gottes ist an keinen Raum gebunden – Ein uns unsichtbarer Punkt ist für sie eine Wüsteney, die sich mit Geschöpfen erfüllet, welche die innersten Winkel der Natur anfüllen – und wo sich die Gottheit an Meisterstücken vergnügt, von welchen wir kaum mehr wissen, als, daß sie vorhanden sind.* Die religiöse Absicht wird vollends deutlich, wenn wir den Zusammenhang betrachten, in den Stoy das Mikroskop stellt. Es gehört innerhalb seiner Enzyklopädie zur zweiten Klasse der Wunderwerke Christi, die den Jugendlichen im Zusammenhang nahe zu bringen sind. *Diese zeigen von Gottes Größe, welche man auch im Naturreiche, z. E. 5. des Mikroscops, 6. und mehrerer Werkzeuge der Experimentalphysik wahrnimmt. Dazu gehören auch noch Christi Wunder und etwas von den Wundern der Heiligen, Christus der wahre Messias und andere religiöse Wunder mehr.*

Der Text verfolgt offensichtlich eine deutlich theologische Zielrichtung. Seine Gegenstände sollen ein Bild der Welt vermitteln, das christlich begründet ist. Das sachliche Bild der mikroskopischen Geräte und Objekte und die entsprechend präzise Beschreibung stehen zu diesen Schlussfolgerungen im Widerspruch. Gleiches gilt auch für die Darstellung der physikalischen Experimente, die ebenfalls in den Zusammenhang göttlicher Wunder gesehen werden (te Hesen, 1997).

Fazit

Die unterschiedliche Herangehensweise Meyens und Stoys an die Mikroskopie und die damit möglichen Erkenntnisse weisen Grundzüge auf, die auch den Auseinandersetzungen um die Behandlung des Faches Naturkunde beziehungsweise Biologie gegen Ende des 19. Jahrhunderts zu Grunde lagen. Die Ablehnung der Erkenntnisse Darwins durch kirchliche Kreise hatte 1879 zum Biologieverbot an den preußischen Gymnasien geführt und das Fach an den Schulen nahezu ausgeschaltet.

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

Bildquellen

Abb. 1: J. F. Meyen, Tab. VI, aus: Meyen 1747. Service de la documentation University of Strasbourg – Digital old books. URL: http://imgbase-scd-ulp.u-strasbg.fr/displayimage.php?pos=-259947

Abb. 2: Sterrop-Mikroskop: Mit freundlicher Genehmigung des Carl Zeiss Archiv.

Abb. 3: Das Mikroskop, aus: Stoy 1784. Tafel XXXIX. Mit freundlicher Genehmigung der Bibliothek für Bildungsgeschichtliche Forschung. URL: http://www.bbf.dipf.de/cgi-opac/bil.pl?t_direct=x&f_IDN=b0016337berl

Literaturhinweise

Danelzik-Brüggemann, Ch.: Mit Bildern lernen. Die Dessauer Philanthropen und die Entstehung des illustrierten Schulbuchs. In: Brüggemeier, F.-J., Korff, G., Steiner, J. (Hrsg.): Mittendrin – Sachsen-Anhalt in der Geschichte, S. 271–274, Dessau 1998.

Gerlach, D.: Geschichte der Mikroskopie. Mit CD-ROM. Verlag Harry Deutsch, Frankfurt am Main 2009.

Jahn, I. (Hrsg.): Geschichte der Biologie, 2. korr. Sonderauflage der 3. Auflage 1989. Nikol Verlag, Hamburg 2002.

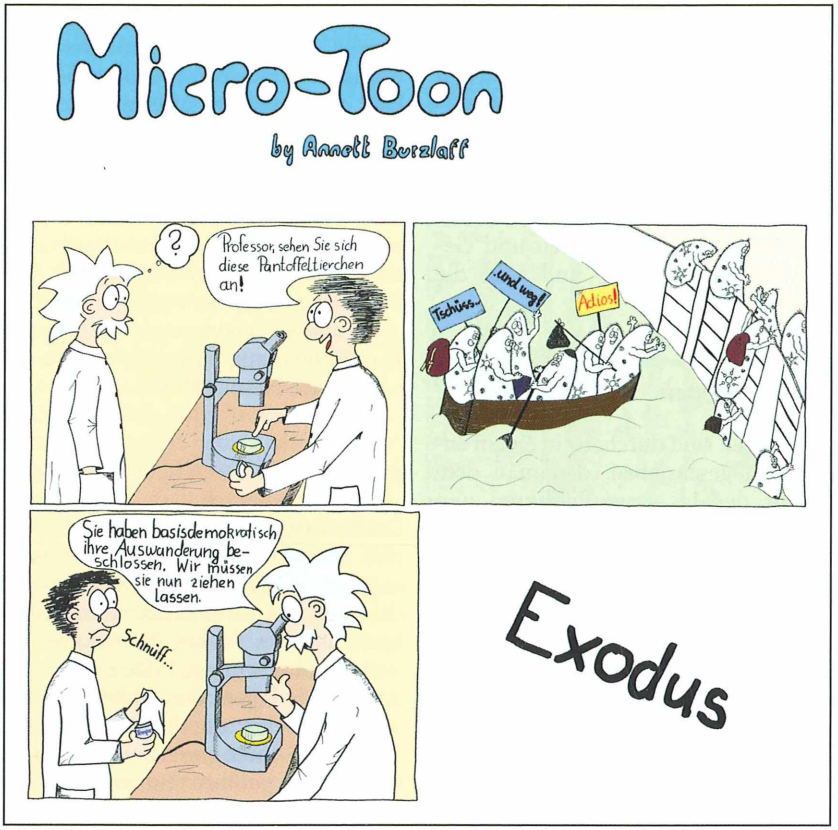
Kambeck, B. U.: http://www.kambeck.com/kap7.html. 2009.

Meyen, J. M.: Kurzer Unterricht von der Beschaffenheit und dem Gebrauch der Vergrößerungsgläser und Teleskopien. Mit Kupfern. Friedrich Sekel, Dresden und Leipzig 1747.

Stoy, J. S.: Bilder-Akademie für die Jugend. Abbildung und Beschreibung der vornehmsten Gegenstände der iugendlichen Aufmerksamkeit – aus der biblischen und Profangeschichte, aus dem gemeinen Leben, dem Naturreiche und den Berufsgeschäften, aus der heidnischen Götter- und Alterthumslehre, aus den besten Sammlungen guter Fabeln und moralischer Erzählungen – nebst einem Auszuge aus Herrn Basedows Elementarwerke. In vier und funfzig Kupfertafeln und zweyen Bänden Erklärung herausgegeben von J. S. Stoy, Prof. der Pädagogik in Nürnberg, Band 2, S. 810–815, Nürnberg 1784.

te Heesen, A.: Der Weltkasten. Die Geschichte einer Bildenzyklopädie aus dem 18. Jahrhundert. Wallstein Verlag, Göttingen 1997.

Verfasser: Dr. Jürgen Hartwig Ibs, Meisensteg 3, 23562 Lübeck, E-Mail: jhibs@t-online.de



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

Insekten unter dem Mikroskop

Rudolf Drews

Seit die Erfindung des Mikroskops den Blick in neue Dimensionen ermöglichte, waren Insekten mit die ersten Objekte, welche mit der neuartigen Betrachtungsweise der Natur auf eine Nadel gespießt, seziert oder zu einem Präparat verarbeitet wurden. Das braucht einen nicht besonders zu wundern, waren Insekten doch ständige Begleiter des Menschen, sei es als Nützlinge, Schädlinge oder als Parasiten.

Daran hat sich auch heute nichts geändert. Während jedoch Insekten in den Anfängen der Mikroskopie ob ihrer skurrilen Strukturen zunächst die Phantasie erregten, hat die Beschäftigung mit Insekten im Laufe der Zeit neue Bedeutung bekommen: Genetik, Entwicklungsphysiologie, Ökologie und Medizin wären hier zu nennen. Trotzdem hat die Insektenmikroskopie wegen der Formenvielfalt der Insekten selbst beziehungsweise ihrer Strukturen nicht an Reiz verloren und jeder Hobbymikroskopiker wird im Anfängerkurs Mikroskopie oder im Mikroskopiebüchlein auf das Kapitel „Insekten" stoßen.

Der Chitinpanzer bietet gegenüber vielen anderen mikroskopischen Objekten den Vorteil der Formbeständigkeit, so dass auch tote und trockene Insekten der Beobachtung, insbesondere mit Auflicht und Stereomikroskop, zugänglich sind. Hier soll aber nur die Durchlichtmikroskopie Thema sein, wobei sich nunmehr die Nachteile des Insektenpanzers bemerkbar machen. Abgesehen von der gelegentlichen Überdimensionierung des Objekts für mikroskopische Präparate, sind es die Brüchigkeit getrockneter Individuen und die optische Dichte, die Probleme machen. Die Aufarbeitung zu einem mikroskopischen Durchlichtpräparat wird beides zu berücksichtigen haben.

Insektenflügel

Die Transparenz von Fliegen-, Mücken- oder Wespenflügeln (Abb. 1) macht Vorbereitungen unnötig und die Objekte lassen sich unmittelbar zu Trockenpräparaten verarbeiten. Möchte man die Flügel in Harz einbetten, sollte vorher mit Alkohol oder Xylol die Luft aus den Flügeladern getrieben werden. Insektenflügel zeigen wie übrigens alle übrigen Teile der Insekten eine große Vielfalt hinsichtlich Form, Behaarung und Äderung. Letztere spielt bei der Artbestimmung eine wichtige Rolle. Freunde von Sammlungen können sich auf diese Weise eine Flügelsammlung aufbauen.

Ein besonderes Kapitel sind die Schmetterlingsflügel, und zwar weniger die Flügel selbst als die Schuppen. Das Zustandekommen der zum Teil hübschen Muster der Schmetterlingsflügel offenbart am besten das Auflicht-Stereomikroskop. Einzelne Schuppen lassen sich ebenfalls leicht im Trockenzustand beobachten, nachdem man sie mit einer Nadel oder einer Skalpellspitze über dem Objektträger vom Flügel abgekratzt hat. Schuppen wie auch kleine Flügelausschnitte lassen sich natürlich auch in Harz einbetten. Die Feinstrukturen der Schuppen mancher Schmetterlingsarten dienten früher ähnlich wie die Feinstrukturen von Kieselalgen zur Prüfung der optischen Leistung von Mikroskopobjektiven.

Extremitäten

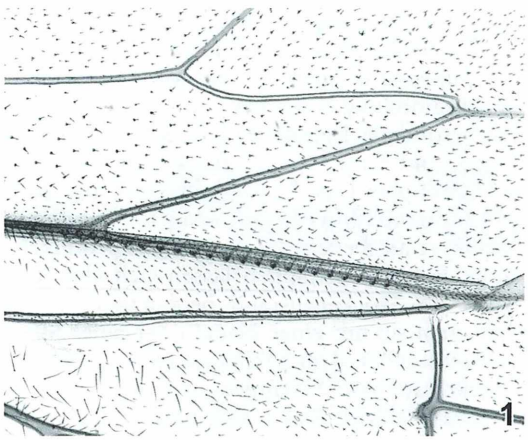
Insektenbeine sind nicht nur für die Artbestimmung von Wichtigkeit, sondern sie sind auch Ausdruck von Anpassungen an die Lebensweise. Extreme Beispiele sind die flachen, beborsteten Schwimmbeine von Wasserwanzen und die mit Endkrallen versehenen Füße einer Fliege (Abb. 2). Auch der Fuß des Rüsselkäfers *Hylobius* hat große Endkrallen (Abb. 3). Das Sammelbein der Honigbiene ist ein ewig beliebtes Bild in allen Schulbüchern und Lehrtafeln.

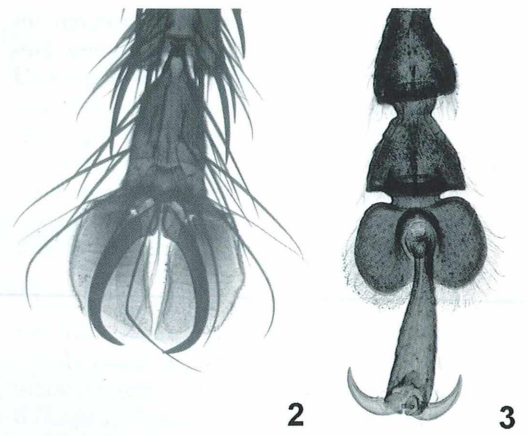
© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Insektenextremitäten lassen sich wie alle folgenden Objekte nicht so einfach wie die zuvor beschriebenen Strukturen zu Dauerpräparaten verarbeiten. Die entsprechenden Verfahrensweisen werden in einem Absatz zum Schluss dargelegt.

Insektenköpfe

Der Insektenkopf enthält einige für den Mikroskopiker interessante, in Chitin geformte Funktionseinheiten: Fühler, Augen und Mundwerkzeuge. Entweder präpariert man den ganzen Kopf (Abb. 4) oder die Einzelteile, was im Falle der Mundwerkzeuge nicht ganz einfach ist. Dennoch findet man in Präparatesammlungen Beispiele, wo die kauend-beißenden Mundwerkzeuge eines Käfers fein säuberlich in entsprechender Lage in der Ebene ausgebreitet sind. Die Ausformung der Mundwerkzeuge spiegelt sehr gut die entsprechende Lebensweise (Ernährungsweise) wieder. Die Saugrüssel der Honigbiene oder die eines Schmetterlings oder einer Mücke sind ebenfalls beliebte Schulbeispiele. Diese Objekte lassen sich etwas leichter zum Präparat verarbeiten, indem man entweder den ganzen Kopf verwendet (Mücke, Abb. 5) oder den Vorderteil des Kopfes abschneidet. Über den Aufbau von Insekten-Mundwerkzeugen wie auch über den eines Insektenbeines informiert man sich am besten in einem Lehrbuch. Insektenaugen sind bekanntlich so genannte Komplexaugen und daher aus vielen Einzelelementen zusammengesetzt. Ohne Dünnschnitte herstellen zu müssen, vermittelt





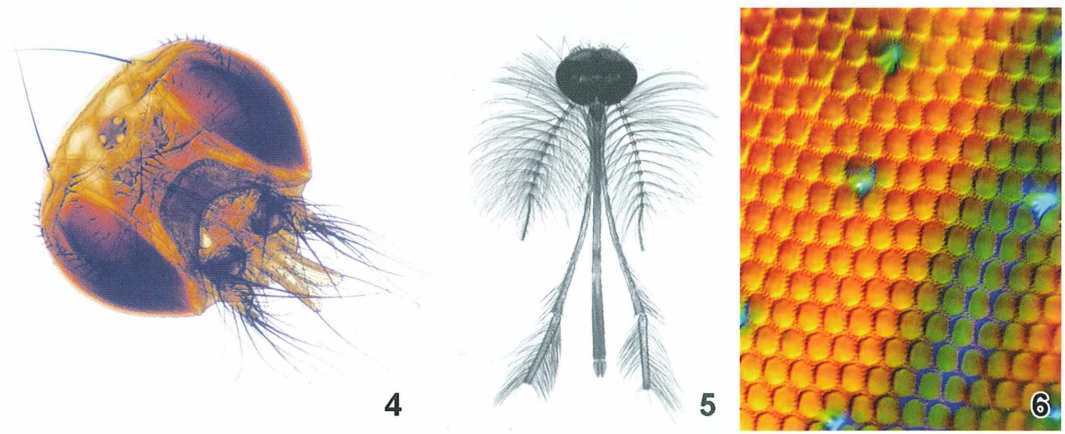


Abb. 1: Ausschnitt eines Wespenflügels. – Abb. 2: Fuß einer Fliege. – Abb. 3: Fuß eines Rüsselkäfers (*Hylobius*). – Abb. 4: Kopf einer Lausfliege. – Abb. 5: Kopf mit Mundwerkzeugen und Fühlern eines Mückenmännchens. – Abb. 6: Hornhaut eines Hornissenauges.

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

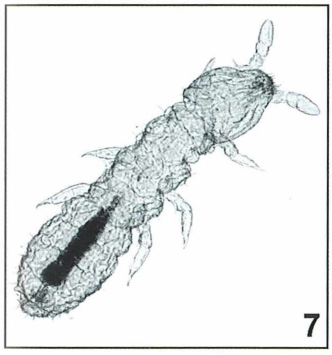
auch die Oberfläche einen Eindruck davon. Mit einer scharfen Rasierklinge fertigt man einen flächenparallelen Schnitt an und man wird unter dem Mikroskop ein ähnliches Bild sehen, wie es in Abbildung 6 dargestellt ist.

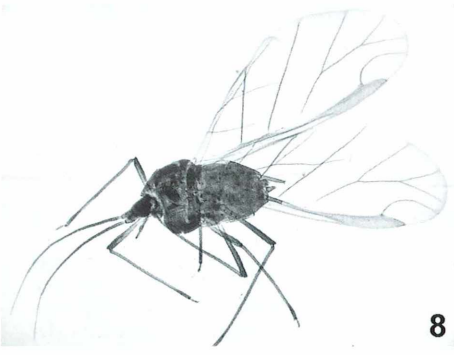
Totalpräparate

Selbstverständlich kann man nur kleine Insekten zu mikroskopischen Totalpräparaten verarbeiten. Sie bieten den Vorteil, dass alle Teile des Insekts der Beobachtung zugänglich sind, vorausgesetzt, das Insekt hat eine dafür günstige Lage unter dem Deckglas. Geeignete Objekte sind Blattläuse, kleine Ameisen, kleine Mücken und Fliegen, Flöhe und Urinsekten (Abb. 7–11). Auch kleine Wasserinsekten und ihre Larven (Mückenlarven, Eintagsfliegenlarven, junge Wasserwanzen) eignen sich recht gut zur Präparation, da diese hierfür von Natur aus günstigere Voraussetzungen mitbringen (Abb. 12).

Präparation

Folgendes Material wird benötigt: Kleine spitze Schere, spitze Pinzette, Federstahlpinzette, Präpariernadel, mehrere Blockschälchen mit Deckel, Milchsäure, Wasserstoffsuperoxidlösung, Kalilauge (20 %ig, hergestellt durch Zugabe von Kaliumhydroxidplätzchen zu Wasser; nicht umgekehrt wegen zu starker Erhitzung!), Kreosot, Propanol, Terpineol, Euparal, Malinol, Polyvinyllaktophenol. Je nach Beschaffenheit werden die Objekte zum Bleichen für mehrere Stunden oder Tage in Milchsäure, Wasserstoffsuperoxid, Kalilauge oder Kreosot gelegt. Die Aufhellung muss zwischendurch überprüft werden. Ist hinreichend gebleicht, kann aus Wasserstoffsuperoxidlösung und Milchsäure nach einer Zwischenwässerung in Polyphenyllaktophenol eingeschlossen werden. Objekte aus Kalilauge erfordern eine mehrtägige Wässerung. Für den Harzeinschluss reicht es, die Entwässerung mit 70 %igem Propanol zu beginnen. In Kreosot dürfen nur getrocknete oder











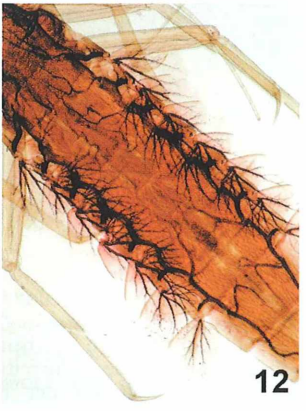


Abb. 7: Urinsekt. – Abb. 8: Geflügelte Blattlaus. – Abb. 9: Junge Bettwanze. – Abb. 10: Floh. – Abb. 11: Ameise. – Abb. 12: Hinterleib einer Eintagsfliege mit Tracheenkiemen.

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

entwässerte Objekte gelegt werden. Man kann sie nach genügender Aufhellung direkt in Harz überführen, jedoch erhöht ein längeres Verweilen zuvor in Terpineol die Transparenz, was für alle in Harz einzuschließende Objekte gilt. Den Einschluss in Harz hat die Natur schon vorweggenommen: Insekteninklusen in Bernstein. Allerdings sind diese „Präparate" erheblich älter. Aber was alte Präparate so an sich haben: Es gibt Risse und Lufteinschlüsse und einwandfreie Exemplare befinden sich in privaten Sammlungen oder Museen. Da sollte man sich mit einem hübschen Floh in Malinol begnügen, denn Bernsteinflöhe sind extrem selten und schier unbezahlbar.

Literaturhinweise

Bellmann, H.: Der neue Kosmos-Insektenführer. Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co., Stuttgart 1999.
Kremer, B. P.: Das Große Kosmos-Buch der Mikroskopie. Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co., Stuttgart 2002.
Stehli, G.: Mikroskopie für Jedermann. Frankh'sche Verlagshandlung. Stuttgart 1965.
Weitschat, W., Wichard, W.: Atlas der Pflanzen und Tiere im Baltischen Bernstein. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München 1998.

Verfasser: Rudolf Drews, Straße 366, Nr. 3, 13503 Berlin, E-Mail: opalinaebony@t-online.de

Digitale Medien

Wyss, U.: Faszination Insekten – Mikrokosmos, Teil 1: Räuber und Parasitoide (60 min), Teil 2: Mord im Apfelbaum (62 min), Teil 3: Blattläuse leben gefährlich (55 min). Verlag Ludwig und Entofilm, Kiel 2009, DVD Video, jeweils € 90,00, ISBN 978-3-937719-96-2, 978-3-937719-97-9, 978-3-937719-98-6.



Faszinierend sind diese DVDs in der Tat. Selten habe ich derartig eindrückliche, technisch so perfekte Filme aus dem Makrobereich gesehen. Das darf man allerdings auch erwarten, wenn man den Autornamen Urs Wyss hört. Hat er doch, als er noch ganz aktuell in der Forschung stand, unter anderem mit dem Institut für den Wissenschaftlichen Film (IWF), Göttingen, atemberaubende Filme über die Lebensweise von Nematoden (Fadenwürmern) produziert. Seitdem Prof. Wyss in den Ruhestand getreten ist, konzentriert er sich, wie man in der Szene weiß, auf die Herstellung von Filmen über das Leben der Insekten. Hierbei handelt es sich nicht primär um wissenschaftliche Filme mit dem Ziel, neue Erkenntnisse zu erarbeiten, sondern eher um die Aufbereitung dessen, was man aus der Forschung über die Biologie der Insekten weiß, was aber bislang noch nicht für ein breiteres Publikum visualisiert, verständlich aufbereitet und gewissermaßen kurzweilig zusammengestellt wurde.

Genau das ist das Anliegen der drei jüngst auf den Markt gekommenen DVD Videos. Es ist im ersten Moment etwas verblüffend, dass der den Film erläuternde Kommentar nicht, wie gewohnt, trocken und steril, sondern vielmehr lebendig erzählend gesprochen wird. Und dabei darf der Sprecher (= der Autor) sich ruhig hin und wieder hörbar räuspern oder, wenn er sich versprochen hat, einen Halbsatz korrigiert wiederholen. Man mag ihm auch verzeihen, dass er bisweilen das Verhalten der Insekten etwas zu sehr anthropomorph kommentiert, indem er beispielsweise der einen und anderen Blattlaus im Eifer seiner Ausführungen ein Denkvermögen attestiert. Man hat das Gefühl, dass ein aus dem tiefen Fundus seines Wissens schöpfender Spezialist eine spannende Geschichte erzählt, der man gerne zusehen und zuhören möchte.

Die Filme geben allerdings keine Idylle des Makrokosmos wieder, sondern die Realität und sind daher möglicherweise für zart besaitete Menschen doch etwas zu heftig. Denn fortwährend – allerdings nicht ununterbrochen – wird im Detail gezeigt, wie Opfer angegriffen, gelähmt, getötet, ausgesaugt und ausgefressen werden. Die Art, wie Urs Wyss diese Vorgänge erklärt und kommentiert, lässt diesen martialischen Aspekt aber schnell in den Hintergrund treten. Es ist einfach spannend zu erleben, welche Strategien beginnend beim Parasitoiden über die echten Parasiten bis hin zum Hyperparasiten in der Evolution entwickelt wurden.

Dass es bei den drei Filmen hier und da Überschneidungen und Wiederholungen gibt, sollte nicht verwundern. Denn jede Folge ist so konzipiert, dass sie einzeln gesehen und verstanden werden kann.

Klaus Hausmann, Berlin

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

Eine automatische Stack-Einrichtung für Mikroskope

Jan-Peter Frahm und Norbert Stapper

Die digitale Fotografie erlaubt heute, in mehreren Ebenen übereinander gemachte Aufnahmen zu einer zu verrechnen, wodurch sich ein erheblicher Schärfentiefegewinn ergibt. Solche Einrichtungen werden zusammen mit neuen Mikroskopen verkauft, was eine Anschaffung sehr teuer macht. Die Firma Jülich in Bonn hat daher eine Einrichtung gebaut, die an vorhandene Mikroskope angesetzt werden kann. Mit Hilfe eines Steuergerätes werden dann automatisch beliebig viele Aufnahmen in wählbaren Abständen gemacht und zu einem Bild zusammengesetzt.

Ein großes Problem in der Mikrofotografie ist die geringe Tiefenschärfe, die mit steigender Vergrößerung drastisch abnimmt. Sieht man einmal von Ausstrichpräparaten oder dünnen Mikrotomschnitten ab, so haben viele Objekte eine größere Ausdehnung als dass sie noch komplett scharf abgebildet werden könnten. Das menschliche Auge sieht darüber großzügig hinweg. Selbst wenn nicht alles ganz genau stimmt, sehen wir ein akzeptables Bild. Die Überraschung kommt erst beim Betrachten des Mikrofotos, bei welchem nur eine Ebene scharf gezeichnet wird. Stärkeres Abblenden führt dabei nur zu Beugungsartefakten. Speziell bei Totalpräparaten wie Pollen, Sporen, Moosblättern oder größeren Algen lässt sich immer nur die Oberfläche oder ein optischer Schnitt abbilden. Solche Aufnahmen sind dann nur ein Kompromiss.

„Hochstapelei"

Einen Ausweg bietet die Anfertigung von Stapelaufnahmen (auch Stackaufnahmen, engl. to stack = stapeln), bei denen in verschiedenen Ebenen Digitalfotos erstellt werden, welche anschließend mit geeigneter Software zusammen-

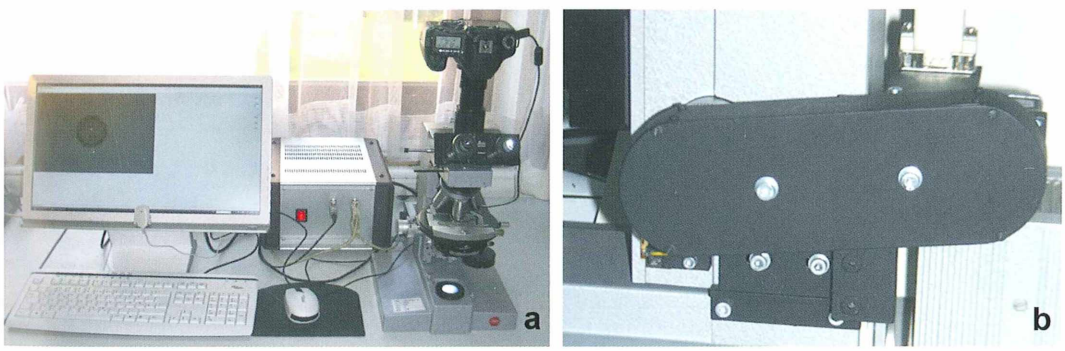


Abb. 1: Stackeinrichtung der Firma Jülich. a In diesem Fall wurde ein 40 Jahre altes Ortholux II umgebaut, in dem ein Stellmotor rechts an die Mikrometerschraube gebaut wurde. Dieser ist mit einem Steuergerät (links) verbunden. Letzteres ist mit einem USB Kabel an einen Computer angeschlossen. Auf dem Mikroskop befindet sich eine digitale Canon SLR, die automatisch die zuvor eingestellte Anzahl von Aufnahmen macht. Zwischen den Aufnahmen senkt der Stellmotor immer den Objekttisch über einen zuvor eingestellten Betrag. Zum Schluss werden alle Aufnahmen automatisch zu einer zusammengesetzt. – b Der Stellmotor wird an der Welle der Mikrometerschraube montiert. Damit können alle Mikroskope für automatische Stackaufnahmen umgerüstet werden.

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

gerechnet werden. Dieses geschieht bei dazu gebauten Mikroskopsystemen automatisch. Von Nachteil ist der fünfstellige Preis. Zudem muss man immer ein komplett neues Mikroskop kaufen, auch wenn man schon ein teures besitzt.

Als Alternative bieten sich Stapelaufnahmen per Hand an. Das ist aber mühsam. Man muss zwischen den einzelnen Aufnahmen die Mikrometerschraube um ein entsprechendes Stück verstellen, was einerseits Erfahrung erfordert, insbesondere aber selten in exakt reproduzierbaren Schrittweiten gelingt. Die so erstellten Einzelfotos müssen dann in ein Stapelprogramm geladen und zusammengerechnet werden. Dazu wird zumeist das Programm Combine Z verwendet, das in verschiedenen Versionen frei von der Homepage des Programmierers Alan Hadley heruntergeladen werden kann. Es gibt auch noch andere freie und auch kommerzielle

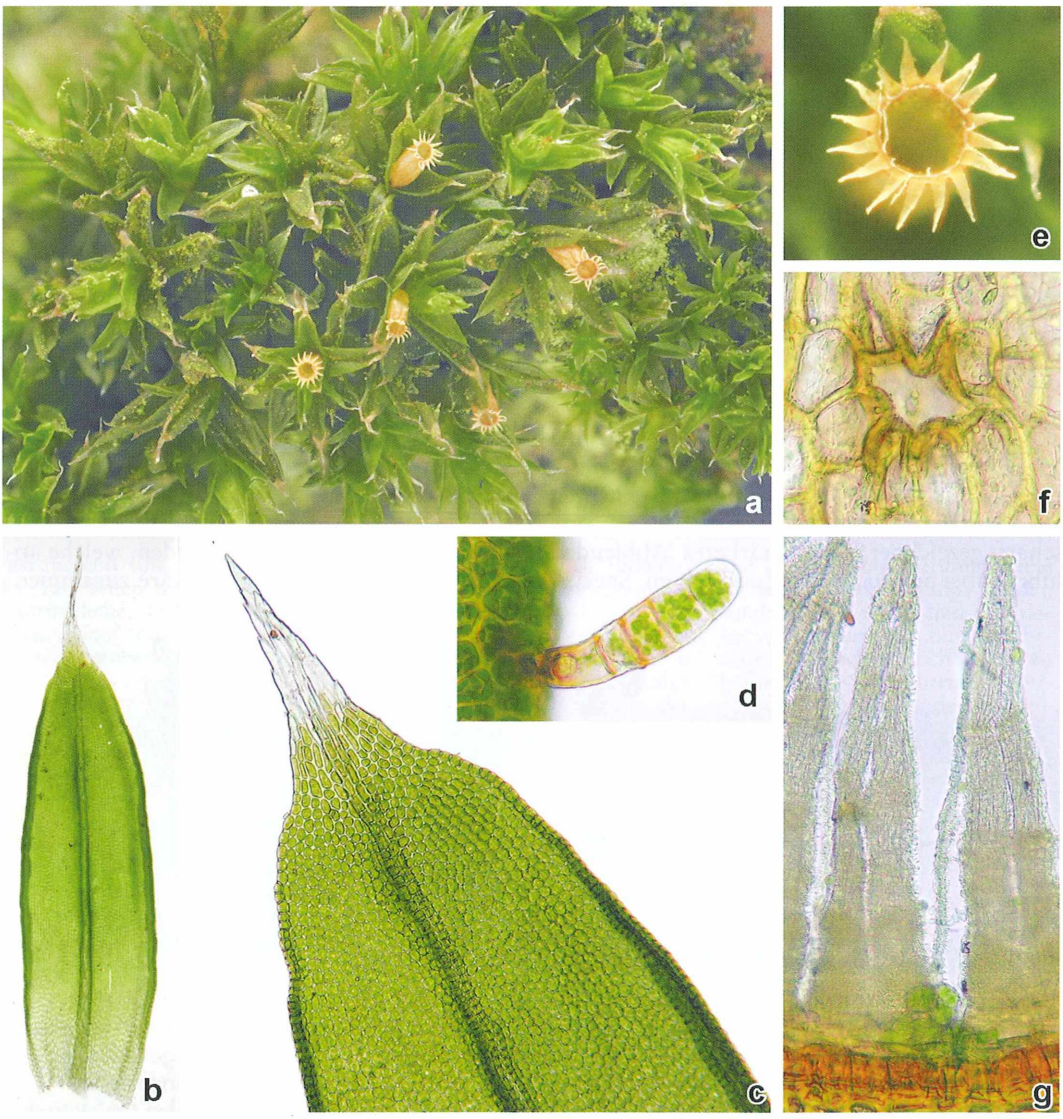


Abb. 2: Makroskopische und mikroskopische Details des Laubmooses *Orthotrichum diaphanum*. a Habitus, b und c Blättchen, d Brutkörper, e Sporophyt (Sporenkapsel), f Spaltöffnung der Sporenkapsel, g Kapselrand (aus: Frahm et al., 2007).

© Elsevier GmbH, Wiesbaden

Programme, die ähnliche Ergebnisse bringen, wobei jedes der Programme seine typischen Stärken und Schwächen hat.

Die Firma Jülich in Bonn hat nun eine naheliegende Möglichkeit realisiert, schon vorhandene Mikroskope auf eine vollautomatische Stackeinrichtung umzurüsten (Abb. 1a). Dazu wird an den Feintrieb eines vorhandenen Mikroskops ein Stellmotor gebaut (Abb. 1b). Dieser wird mit einem Steuergerät verbunden. Das erlaubt, den Objekttisch in definierbaren Abständen hoch- oder herunterzufahren. Der Motor wird über ein Steuergerät durch einen Computer gesteuert, der über einen USB-Anschluss mit einer Mikroskopkamera verbunden ist.

Nach dem Start der Software zeigt die Mikroskopkamera ein Vorschaubild des Objektes auf dem Monitor an. Der Objekttisch wird manuell so verstellt, dass die untere Schärfenebene des Objektes eingestellt ist. Dann gibt man die Zahl der gewünschten Aufnahmen und die Größe der Abstände ein. Das kann man vorher in einer Simulation ohne Kameraauslösung ausprobieren, um die gesamte Tiefe des Objektes zu erfassen. Auf Knopfdruck werden dann die Aufnahmen gemacht, wobei zwischen jeder Aufnahme der Objekttisch um den gewählten Betrag heruntergefahren wird. Sind alle Aufnahmen gemacht, werden diese automatisch in das Programm Combine Z eingelesen und ver-

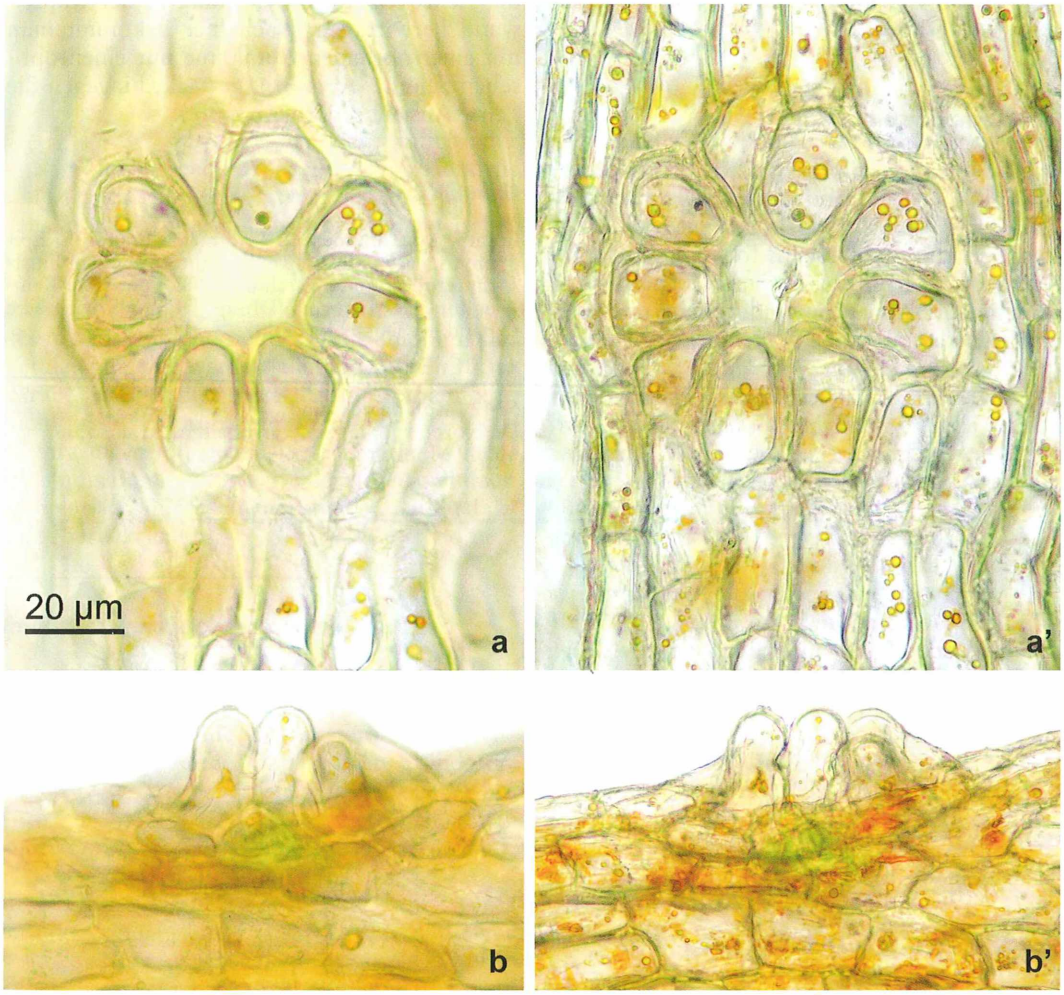


Abb. 3: Spaltöffnung in der Sporenkapselwand von oben (a, a′) und von der Seite (b, b′) gesehen. a und b konventionelle, a′ und b′ gestackte Fotos.

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

arbeitet. Als Ergebnis erhält man die fertige „gestackte" Aufnahme.

Verwendbare Mikroskopkameras

Von den professionellen Mikroskopkameras sind die Zeiss Axiovision Modelle mit der Steuersoftware kompatibel und in ihrer vollen xy-Auflösung nutzbar, während zum Beispiel die Leica EC 3 derzeit nur Fotos in Bildschirmauflösung ermöglicht. Auch Digitalkameras von Canon werden unterstützt, und zwar alle Spiegelreflex-Gehäuse und die in der Mikrofotografie sehr beliebten Powershot-Modelle. Letztere erlauben auch ohne Blitzeinrichtung sehr scharfe Mikrofotos, weil sie nahezu schwingungsfrei auslösen.

Gestackte Beispielsbilder

Das Beispiel von mikroskopischen Aufnahmen des epiphytischen Laubmooses *Orthotrichum diaphanum* (Abb. 2) belegt die Vorteile des Stackverfahrens. Dieses Moos ist nitrophil (Stickstoff liebend) und daher besonders in Städten an Bäumen zu finden. Es ist an den Blättern erkennbar, die in durchsichtige Haarspitzen auslaufen (Abb. 2b und c). Die unter einem Zentimeter hohen Pflanzen produzieren in der Regel zahlreiche Sporophyten (Moos-„kapseln"; Abb. 2a und e). Diese sind den Höheren Pflanzen (Farne, Blütenpflanzen) homolog und besitzen in der Kapselwand Spaltöffnungen, wie sie auch bei einkeimblättrigen Blütenpflanzen zu finden sind. Diese haben allerdings bei Moosen keine Funktion, lassen aber darauf schließen, dass Moose und Höhere Pflanzen gemeinsame Vorfahren haben. Es handelt sich bei den Spaltöffnungen um den so genannten kryptoporen Typ, das heißt, der eigentliche Spaltöffnungsapparat liegt versteckt unterhalb einer Öffnung in der Kapselwand. Beim Fokussieren bekommt man entweder nur die obere (Abb. 3a) oder untere Ebene scharf. Bei einer Stackeraufnahme wird die Schärfentiefe auf beide Strukturen ausgedehnt (Abb. 3a′). Von der Seite betrachtet sieht man, dass die Zellecken um die Öffnung in der Kapselwand hervorragen. Auch hier bekommt man mit einer normalen Aufnahme nur einen optischen Schnitt (Abb. 3b), gestackt hingegen die ganze Ansicht scharf (Abb. 3b′).

Literaturhinweis

Frahm, J.-P., Stapper, N. J., Franzen-Reuter, I.: Epiphytische Moose als Umweltgütezeiger. Ein illustrierter Bestimmungsschlüssel. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Schriftenreihe Band 40, Düsseldorf 2007.

Verfasser: Prof. Dr. Jan-Peter Frahm, Bonner Straße 56, 53424 Rolandseck, und
Dr. Norbert J. Stapper, Verresberger Straße 55, 40789 Monheim

Mikro-Markt

Mikroskop. Präparate aus Zoologie und Botanik **in bester Qualität direkt vom Hersteller.**
Liste anfordern (Rückporto von EUR 1,12 in Briefmarken). Labor für mikroskopische Technik.
Volker Neureuther, Rechbergstr. 5, 85049 Ingolstadt, Tel.: 08 41/5 43 98, Fax: 08 41/5 68 53, Mobil: 0162/2816128

www.mikroskopier-bedarf.de
online-shop & Service / Reparaturen
Tel./Fax: 0341/4 61 65 96



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

Die Numerische Apertur – Gut auch für die Bildhelligkeit

Hinrich Husemann

Fotografen verbinden mit dem großen Öffnungsverhältnis eines Fotoobjektivs wohl eher große Bildhelligkeit und damit kürzere Belichtungszeiten, weniger ein höheres Auflösungsvermögen. „Normale" Mikroskopiker verbinden mit einer hohen Numerischen Apertur, der dem Öffnungsverhältnis entsprechenden Kennzahl von Mikro-Objektiven, wohl hauptsächlich Letzteres und weniger die auch damit verknüpfte größere Bildhelligkeit. Anders ist es bei der Fluoreszenzmikroskopie: Dort sind hohe Numerische Aperturen auch für die genügend helle Abbildung nur schwach fluoreszierender Objektdetails von besonderem Interesse.

Hier sei ausschließlich der Einfluss der Numerischen Aperturen von Kondensoren und Objektiven, dazu der jeweiligen Vergrößerungen – also rein geometrischer Größen – auf die Helligkeit des mikroskopischen Bildes betrachtet. Helligkeit steht dabei für die Beleuchtungsstärke (Formelzeichen E) des mikroskopischen Bildes. Da es hier nur um Vergleiche geht, werden alle anderen Einflüsse darauf, wie beispielsweise die Leuchtdichte der Lichtquelle, Transmissionsverluste und Wechselwirkungen mit dem Objekt jeweils als identisch angenommen und in Gleichungen einfach summarisch durch einen Proportionalitätsfaktor k berücksichtigt.

Etwas zu den theoretischen Grundlagen

Anhand des in Abbildung 1 dargestellten, einfachen paraxialen Strahlenganges einer einstufigen Abbildung (mit zugehörigen Lichtröhren) seien hierzu nur die notwendigen grundsätzlichen Überlegungen anschaulich-plausibel besprochen. Ausführlicheres findet man unter Anderem bei Kühlke (1998), Beyer (1988), Michel (1981) und Piller (1977).

Eine ebene, runde, gleichförmig und diffus strahlende Lichtquelle Q – oder das Bild einer solchen – mit der Fläche $F = \pi \times r^2$ werde durch das Objektiv O – dargestellt ist nur seine Aperturblende A – aberrationsfrei abgebildet als Bild B mit der Fläche $F' = \pi \times (r')^2$. Aus dem linearen Abbildungsmaßstab $M = r'/r$ folgt damit $F' = F \times M^2$.

Hier interessiert nur der Einfluss des abbildenden optischen Systems O auf die resultierende Beleuchtungsstärke $E = \Phi'/F'$ des Bildes B mit Φ' als dort einfallendem Lichtstrom.

Der von der Quelle Q in deren Abbildung einfließende Lichtstrom Φ ist proportional zu ihrer Leuchtdichte L, ihrer Fläche F und dem Raumwinkel Ω, unter dem das Objektiv O die von den Punkten ihrer Fläche F ausgehende Strahlung aufnimmt. Dessen Kreiskegel ist bei gegebener Objektweite QO bestimmt durch die Öffnungsfläche $\pi \times R^2$ der Aperturblende A des Objektivs. Der wirksame Radius R von A folgt wegen der Sinusbedingung nicht – wie die vereinfachende Abbildung vorgibt – aus dem Tangens, sondern aus dem Sinus des Aperturwinkels u, gewichtet mit der Brechzahl n des objektseitigen Mediums; also der objektseitigen Numerischen Apertur $NA = n \times \sin u$. Für den wirksamen Raumwinkel folgt daraus $\Omega = \pi \times NA^2$. Der vom Objektiv erfasste Lichtstrom beträgt damit $\Phi = L \times F \times \pi \times NA^2$.

Beim Passieren des Objektivs treten Reflexions- und Transmissions-Verluste ein. Diese werden formal berücksichtigt durch einen Transmissionsfaktor $\tau < 1$; der Lichtstrom auf die Bildfläche F' beträgt damit $\Phi' = \Phi \times \tau = L \times \tau \times F \times \pi \times NA^2$. Ergänzung: Nach dem Sinussatz gilt $F \times NA^2 = F' \times (NA')^2$ mit $NA' = n' \times \sin u'$ als bildseitiger Numerischer Apertur; dem entsprechend auch: $\Phi' = L \times \tau \times F' \times \pi \times (NA')^2$.

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

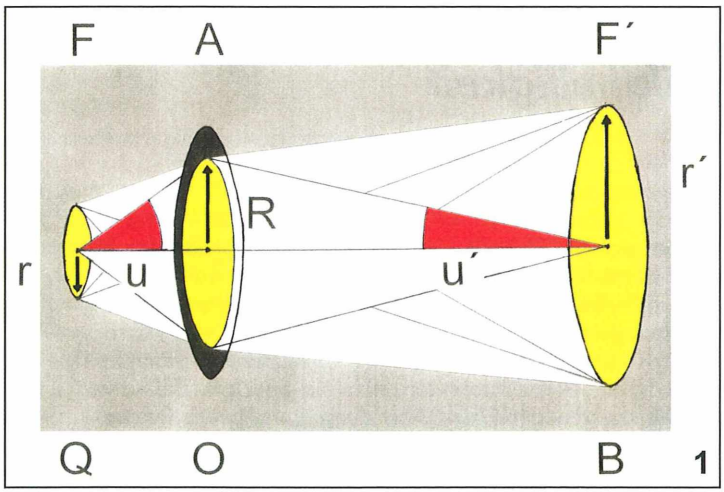


Abb. 1: Zur Helligkeit von Abbildungen. B Bild, F, F′ Flächen von Lichtquelle (Objekt) und Bild, Q Lichtquelle (Objekt), O Objektiv, A seine Aperturblende, R deren Radius, r, r′ Radien von Q und B, u, u′ Aperturwinkel. Nähere Erläuterungen im Text.

Analog zum Ohm'schen Gesetz der elektrischen Leitung werden die Terme $\tau \times F \times \pi \times NA^2$ und $\tau \times \pi \times F' \times (NA')^2$ auch als Lichtleitwert Λ bezeichnet.
Mit $F' = F \times M^2$ ergibt sich so die gesuchte Beleuchtungsstärke $E = \Phi'/F'$ des Bildes B zu:

$$E = L \times \tau \times \pi \times (NA/M)^2 = L \times \tau \times \pi \times (NA')^2$$

Gleichung 1a

Für die fotografische Dokumentation wird das mikroskopische Bild auf der in der Bildebene des Objektivs – oder einer dazu konjugierten Ebene – befindlichen Oberfläche des Strahlungssensors (Film, CCD-Chip, usw.) entworfen. Für den hier nur interessierenden Vergleich der dort durch unterschiedliche Kondensoren und Objektive unter sonst identischen Bedingungen (gleiches L, τ usw.) erzielbaren Beleuchtungsstärken E genügt damit die Betrachtung der Terme $(NA')^2$ und $(NA/M)^2$ jeweils mit k als Proportionalitätsfaktor:

$$E = k \times (NA/M)^2 = k \times (NA')^2$$

Gleichung 1b

Der Abbildungsmaßstab M hängt von der jeweiligen optischen Konfiguration ab. Bei einstufiger Abbildung direkt in die Zwischenbildebene des Mikroskops ist mit M(Obj.) der Abbildungsmaßstab des Objektivs einzusetzen. Bei mehrstufiger Abbildung mittels Projektiv oder Okular mit aufgesetzter Kamera gehen deren Vergrößerungen V(Ok.) und der Kamerafaktor K sowie von 1 verschiedene Tubusfaktoren T mit in M ein: $M = M(Obj.) \times V(Ok.) \times K \times T$.

In der Durchlicht-Hellfeld-Mikroskopie

Bei korrekter Köhler'scher Beleuchtung entwirft der Kollektor der Mikroskop-Leuchte in der unteren Brennebene des Kondensors ein Bild der Lichtquelle (z. B. einer Flachkernwendel), das die maximale Öffnung der dort befindlichen variablen Kondensorblende ganz ausfüllt. Die von Letzterer jeweils freigelassene Teilfläche dieses Lichtquellen-Bildes stellt die für die weitere Abbildung wirksame, so genannte stellvertretende Lichtquelle dar. Diese wird dann mittels Kondensor und Objektiv – durch die zwischenliegende Objektebene hindurch – in die bildseitige Brennebene des Objektivs abgebildet. Der Radius R der dort befindlichen Aperturblende begrenzt dessen Numerische Apertur NA(Obj.).
Anmerkung: Häufig können in der normalen Durchlicht-Mikroskopie die Objekte als weitgehend transparent – also durchsichtig – angenommen werden. Die Wechselwirkungen der Strahlung mit deren Strukturen, wie zum Beispiel Beugung oder Streuung – die ja an sich die Abbildung bewirken – spielen dann intensitätsmäßig eine untergeordnete Rolle und werden hier deshalb etwas vereinfachend bezüglich der Lichtströme vernachlässigt.
Bei genügend eng gestellter Kondensorblende ist ohne Okular – bequemer durch ein Hilfsmikroskop – dann das helle Bild der von ihr begrenzten stellvertretenden Lichtquelle als leuchtende runde Scheibe innerhalb der Aperturblende des Objektivs sichtbar (daneben sind – im historischen „dunklen Raum" – oft auch noch schwä-

chere Beugungsmaxima zu erkennen). Ihr Radius r < R bestimmt die Beleuchtungsapertur NA(Bel.) des mikroskopischen Zwischenbildes und deren Quadrat damit dessen Beleuchtungsstärke: E ~ NA(Bel.)^2. Solange die Aperturblende des Objektivs also nicht voll ausgeleuchtet ist, das heißt NA(Bel.) < NA(Obj.), regelt die Öffnung der Kondensorblende die Helligkeit des mikroskopischen Bildes.
Ergänzung: Bei Phasenkontrast ist Letztere jeweils bestimmt durch die Fläche der Ringblende im Kondensor und die stark reduzierte Transmission des Phasenringes im Objektiv.
Füllt das Bild der stellvertretenden Lichtquelle die Aperturblende des Objektivs gerade ganz aus, gilt NA(Bel.) = NA(Obj.). Hier ist das Maximum an Bildhelligkeit erreicht. Eine weitere Öffnung der Kondensorblende wird von der Aperturblende des Objektivs abgedeckt.
Anmerkung: Die jeweils wirksame Kondensorapertur beeinflusst ja gemäß der Abbe'schen Beziehung d = λv/[NA(Obj.) + NA(Bel.)] (λv = Vakuum-Wellenlänge) auch die Auflösungsgrenze d. Man regelt deshalb die Bildhelligkeit korrekt nur über die Intensität der Lichtquelle (z. B. Graufilter); nie mittels der Kondensorblende!
Wie schon erläutert, ist die Beleuchtungsstärke E des mikroskopischen Zwischenbildes auch umgekehrt proportional zum Quadrat des Abbildungsmaßstabes M(Obj.) des Objektivs. Zusammenfassend ergibt sich damit für den hier angenommenen Fall weitgehend transparenter Objekte, dass die Bildhelligkeit mit zunehmender Öffnung der Kondensorblende wächst, solange NA(Bel.) ≤ NA(Obj.), darüber hinaus aber konstant bleibt:

$$E = k \times [NA(Bel.)/M(Obj.)]^2 \quad \text{mit } NA(Bel.) \leq NA(Obj.) \qquad \text{Gleichung 2}$$

Kleines Experiment: Diesen Einfluss des Öffnungsgrades der Kondensorblende auf die Bildhelligkeit kann man zum Beispiel mit Hilfe des Belichtungsmessers einer aufgesetzten Spiegelreflex-Kamera überprüfen. Das Aperturverhältnis NA(Bel.)/NA(Obj.) ist als Radienverhältnis r/R des Bildes der stellvertretenden Lichtquelle innerhalb der Aperturblende des Objektivs über ein Hilfsmikroskop relativ einfach zu bestimmen. Beispiel: Ist die Aperturblende gerade halb ausgeleuchtet – das heißt r = $^1/_2$ R und deshalb NA(Bel.) = $^1/_2$ NA(Obj.) – beträgt die Beleuchtungsstärke im Zwischenbild nur $^1/_4$ des Maximalwertes und man misst im Vergleich zu ihrer vollen Ausleuchtung die vierfache Belichtungszeit. Andererseits bringt eine Vergrößerung der Beleuchtungsapertur über die des Objektivs hinaus keine Verkürzung der Belichtungszeit.
Wirkt das Objekt aber stärker streuend oder ist es sogar nur noch durch*scheinend*, wird der gerichtete Strahlenverlauf von der Beleuchtung in die Abbildung hinein immer mehr gestört. Bei Steigerung der Beleuchtungs-Apertur über die des Objektivs hinaus – quasi eine zusätzliche Dunkelfeld-Beleuchtung – erhöht sich wegen der Streuung auch der mit zu hohen Aperturen einfallenden Strahlen zusätzlich die Leuchtdichte des Objektes und damit die Bildhelligkeit. Das lässt sich leicht beispielsweise an einem Trübglas (Opalglas) als Objekt nachprüfen.

In der Fluoreszenz-Mikroskopie

Die Objekte der Fluoreszenz-Mikroskopie sind inkohärente Selbstleuchter. Sie werden allerdings erst durch *Be*-leuchten zum *Selbst*-leuchten angeregt. Das geschieht mittels geeigneter kurzwelligerer Strahlung, zum Beispiel Ultraviolett, Violett, Blau. Fluoreszenzfähige Moleküle im Objekt werden dabei durch deren Absorption zunächst auf energiereichere, angeregte Zustände gebracht. Aus diesen fallen sie statistisch ungeordnet nach sehr kurzer Zeit (10^-6 bis 10^-8 sec) unter Abgabe ungerichteter, langwelligerer Strahlung – z. B. Grün, Gelb, Rot – (Stokes'sche Regel) in den Grundzustand zurück und können erneut angeregt werden .
Die Fluoreszenz-Strahlung des Objektes ist also von der beleuchtenden Erreger-Strahlung entkoppelt. Nur ihre Leuchtdichte L ist noch – lineares Verhalten und keine Sättigung der Fluoreszenz vorausgesetzt – direkt proportional zu seiner Beleuchtungsstärke E und somit zum Quadrat der Beleuchtungsapertur; also L ~ E ~ [NA(Bel.)]^2 .
Zur Abbildung kommen soll nur die Fluoreszenzstrahlung. Um die begleitende, nicht absorbierte Erregerstrahlung abzutrennen, bedarf es geeigneter optischer Anordnungen mit jeweils passenden Filterkombinationen (Erregerfilter, Sperrfilter, chromatische Strahlenteiler). Hierzu sei auf die Literatur – speziell auch einschlägige Firmenschriften (Leitz, Zeiss) – verwiesen. Da die Objekte dann Selbstleuchter sind, ist die Beleuchtungsstärke des Bildes entsprechend Gleichung 1 auch proportional zu [NA(Obj.)/M]^2. Ganz allgemein gilt also – unter den hier

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

gemachten Voraussetzungen – bei allen Varianten der Fluoreszenz-Mikroskopie:

$$E = k \times [NA(Bel) \times NA(Obj.)/M]^2$$

Gleichung 3

Durchlicht-Hellfeld-Fluoreszenz

Diese ursprüngliche und älteste Methode spielt heute nur noch eine geringere Rolle. Sie ist aber ohne größeren Aufwand mit normalen Hellfeld-Mikroskopen realisierbar. Es genügt dazu im Beleuchtungs-Strahlengang ein Erregerfilter (z. B. blau), im Abbildungs-Strahlengang ein dazu passender Durchlassfilter für die Fluoreszenz-Strahlung (z. B. gelb).
Da die Erregerstrahlung quasi im Objekt endet (ihr dort nicht „verbrauchter" Überschuss wird ja oberhalb des Objektivs weggefiltert), können deshalb auch Kondensoren höchster Apertur voll genutzt werden. Die Leuchtdichte der angeregten Objektdetails ist so proportional zum Quadrat der vollen Kondensor-Apertur: $L \sim NA(Kond)^2$. Damit ergibt sich bei der einfachen Durchlicht-Fluoreszenz für die Beleuchtungsstärke E im Zwischenbild:

$$E = k \times [NA(Kond.) \times NA(Obj)/M(Obj.)]^2$$

Gleichung 4

Zur Erzielung möglichst heller Bilder sind hier damit sowohl Kondensoren als auch Objektive hoher Numerischer Apertur zusammen einsetzbar, letztere bevorzugt mit geringerem Abbildungsmaßstab; dazu auch Okulare nicht so hoher Vergrößerung V(Ok.).

Durchlicht-Dunkelfeld-Fluoreszenz

Nachteilig bei der einfachen Durchlicht-Hellfeld-Fluoreszenz ist unter Anderem, dass die nicht vom Objekt absorbierte überschüssige Erregerstrahlung – das kann der weit überwiegende Anteil sein – wie beim Hellfeld-Mikroskop direkt mit in den Abbildungs-Strahlengang eintritt. Zu ihrer vollständigen Absorption bedarf es dort deshalb starker Sperrfilter.
Diesbezüglich günstiger ist die Bestrahlung des Objektes mittels Dunkelfeld-Kondensoren. Hierbei geht das „nicht verbrauchte" Erregerlicht weitestgehend am Objektiv vorbei, lediglich der geringe an den Objektstrukturen wie bei normaler Dunkelfeld-Abbildung gebeugte und gestreute Anteil muss noch aus dem Abbildungs-Strahlengang herausgefiltert werden. Für die Stärke der Anregung und der daraus folgenden Fluoreszenz wirksam ist hier aber nur die Differenz der Quadrate von maximaler und minimaler Numerischer Apertur des Kondensors, also $NA(Kond,max)^2 - NA(Kond,min)^2$ (Beispiel: $1{,}4^2 - 1{,}2^2 = 0{,}52$; anstelle von $1{,}4^2 = 1{,}96$). Letztere muss zudem größer sein als die der Objektive, was deren Auswahl

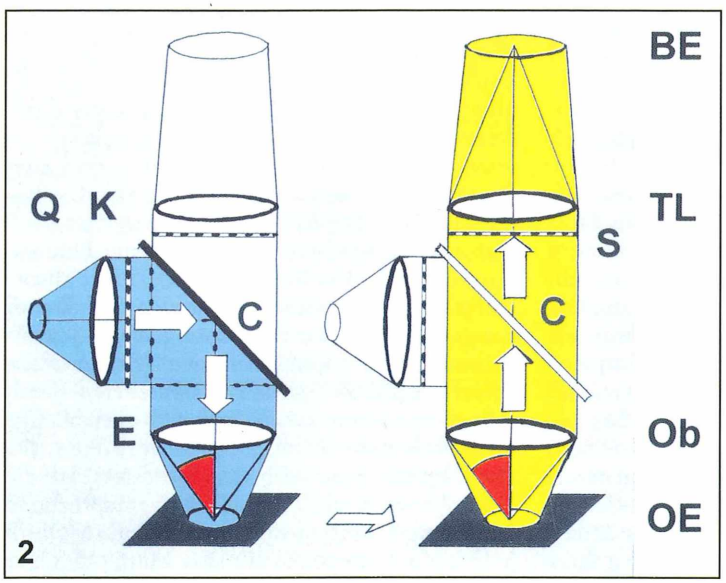


Abb. 2: Zum Prinzip der Auflicht-Fluoreszenz: Links Anregung (vereinfacht), rechts Fluoreszenz und Abbildung. BE Bildebene, C chromatischer Strahlenteiler, E Erregerfilter, K Kollektor der Leuchte, Ob Objektiv, OE Objektebene, Q Lichtquelle, S Sperrfilter, TL Tubuslinse. Rot: Aperturwinkel des Objektivs, Blau: Erregerstrahlung, Gelb: Fluoreszenzstrahlung mit Abbildung. Nähere Erläuterungen im Text.

natürlich einschränkt (oder eine ihre Apertur begrenzende Iris- oder Einhänge-Blende erfordert). Ein Nachteil dieses Verfahrens liegt auch in der umständlicheren Handhabung des Dunkelfeld-Kondensors, der ja für Objektive höherer Apertur meist noch immergiert werden muss.

Auflicht-Fluoreszenz

Mit der weiteren Entwicklung der Filtertechnik, insbesondere der chromatischen Strahlenteiler, welche es gestatten, nahezu verlustlos die Erregerstrahlung durch Reflexion umzuleiten, aber die Fluoreszenzstrahlung durchzulassen, ließen sich dann die Vorteile der Auflicht-Anregung voll ausnutzen. Abbildung 2 versucht das etwas vereinfacht zu illustrieren. Links ist zunächst die Führung der Erregerstrahlung (blau), rechts dann die der (ihr ja auch zeitlich nachgelagerten) Fluoreszenzstrahlung (gelb) mit Abbildung dargestellt. Hier dient das Objektiv zuerst als Kondensor. Die Erregerstrahlung wird durch den chromatischen Strahlenteiler C entgegen der Richtung des Abbildungs-Strahlenganges auf das Objekt geleitet. Ihr dort nicht absorbierter Überschuss kommt gar nicht erst dorthin (auch rückgestreute Anteile werden in C absorbiert). Die ergänzende Funktion von Erreger- und Sperrfilter E und S ließ sich in der einfachen Darstellung nicht zeigen. Praktisch werden für bestimmte Anwendungen jeweils aufeinander abgestimmte Filter E, C und S (BP/FT/LP für Bandpass/Farbteiler/Langpass) zusammengefasst in einem Filterblock (Abb. 2).

Da kein zu immergierender Kondensor aufwändig eingerichtet, sondern nur noch auf das Objekt fokussiert werden muss, ist die Handhabung wesentlich einfacher als bei den Dunkelfeld-Verfahren und hat unter Anderem auch deshalb diese weitgehend verdrängt. Zudem lassen sich hier noch andere Kontrastverfahren wie zum Beispiel Phasenkontrast unschwer kombinieren.

In seiner Funktion als Kondensor bestimmt das Objektiv zunächst mit dem Quadrat seiner Apertur die Beleuchtungsstärke des Objektes und damit auch die – immer lineares Verhalten vorausgesetzt – dazu proportionale Leuchtdichte L der Fluoreszenzstrahlung; danach als Objektiv noch einmal die Beleuchtungsstärke E des Bildes. Die Objektiv-Apertur wirkt also insgesamt mit ihrer vierten Potenz. Für die Beleuchtungsstärke in der Zwischenbildebene gilt damit:

$$E = k \times [(NA(Obj.)^4 / M(Obj.)^2]$$

Gleichung 5

Bei der Auflicht-Fluoreszenz sind damit für helle Fluoreszenzbilder Objektive mit möglichst hohen Aperturen und nicht zu starken Vergrößerungen von Vorteil, insbesondere wegen ihrer Doppelfunktion auch als Kondensor.

Um zu zeigen, wie sich das Besprochene quantitativ unter vergleichbaren Bedingungen (jeweils gleiche Lichtquelle, gleiches Objekt, gleiches Okular, usw.) auf die physikalisch objektiv messbare Bildhelligkeit auswirkt, wurden für Objektivgruppen gleicher Abbildungsmaßstäbe, aber unterschiedlicher Aperturen zunächst die Werte von [(NA(Obj.)^4/M(Obj.)^2] berechnet; und dann – um übersichtlichere Zahlen zu bekommen – auf den für das (willkürlich gewählte) Objektiv 4/0,10 berechneten Wert [0,10^4/4^2] = 6,25 × 10^-6 als „Quasi-Einheit" normiert. Diese Relativwerte der Beleuchtungsstärke E,r = E/E(4/0,10) sind (gerundet) in der angegebenen Tabelle (Tab. 1) aufgeführt.

Experimentell lassen sich die berechneten Werte E,r wieder anhand der mittels einer aufgesetzten Spiegelreflexkamera gemessenen Belichtungszeiten t vergleichen. Stets gleiche Versuchsbedingungen und Proportionalität der Fluoreszenzintensität zur Beleuchtungsstärke vorausgesetzt, sollte das der für die korrekte Belichtung notwendigen Lichtmenge proportionale Produkt E,r × t bei allen Objektiven den gleichen Wert ergeben. Praktisch muss man aber auch mit etwas unterschiedlichen Transmissionen rechnen (insbesondere für die kurzwelligere Erregerstrahlung), sowie mit einer zeitlichen „Ermüdung" (Fading) der Fluoreszenz. Zudem werden bei Kameras Belichtungszeiten meist nur in Normwerten gestaffelt (1 s, 1/2 s , 1/4 s, 1/8 s, usw.) angezeigt. Man sollte also beim Vergleich der resultierenden Produkte E,r × t nicht zu enge Maßstäbe anlegen.

Es wurde ein das Sehfeld füllendes, möglichst gleichförmig fluoreszierendes Präparat – hergestellt aus mit dem Fluorochrom Acridinorange imprägniertem Papier – als Objekt eingesetzt. Dazu benutzte ich Blau-Anregung und gelb-grüne Fluoreszenz mit dem Filtersatz BP 450–490 / FT 510 / LP 520 und einer Halogenlampe 100 W. Trotz begrenzter Messgenauigkeit ließen sich die berechneten Helligkeitsverhältnisse so praktisch in etwa nachvollziehen.

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

Tabelle 1: Relative physikalische und „visuell empfundene" Bildhelligkeiten E,r = E/E(4/0,10) und S = (E,r)^0,33 mit unterschiedlichen Objektiven bei Auflicht-Fluoreszenz.

M(Obj.)	4:1		10:1				16:1			25:1		
NA(Obj.)	0,10	0,16	0,22	0,25	0,30	0,45	0,35	0,40	0,50	0,45	0,65	0,80
E,r	1	6,6	3,7	6,3	13,0	65,6	9,4	16,0	39,1	10,5	45,7	105
S	1	1,9	1,5	1,8	2,3	4,0	2,1	2,5	3,5	2,2	3,5	3,6

M(Obj.)	40:1				63:1			100:1			
NA(Obj.)	0,65	0,75	0,90	1,30	0,90	1,20	1,40	1,25	1,30	1,35	1,40
E,r	17,9	31,6	65,6	286	26,4	83,6	154	39,1	45,7	53,1	61,5
S	2,6	3,1	4,0	6,5	2,9	4,3	5,3	3,4	3,5	3,7	3,9

Ein Beispiel: Mit unter gleichen Bedingungen gemessenen (gemittelten) Belichtungszeiten t von 1/30 s und 1/45 s für zwei Achromate 10/0,22 und 10/0,25 ergab sich für deren Werte E,r × t (E,r siehe Tabelle) mit 3,7/30 = 0,12 und 6,3/45 = 0,14 eine durchaus akzeptable Übereinstimmung. Auch t = 1/125 s für ein Neofluar 10/0,30 wich mit 13/125 = 0,10 nicht viel ab; hier ist wohl die Transmission für die kurzwelligere Erregerstrahlung etwas besser.

Anmerkung: Analoge Betrachtungen und Experimente, orientiert an den Gleichungen 3 und 4, ließen sich mit vergleichbarer Übereinstimmung natürlich auch für die erwähnten älteren Durchlicht-Fluoreszenzverfahren anstellen. Das sei dem interessierten Leser überlassen.

Der Vergleich der E,r-Werte lässt unmittelbar erkennen, welche Objektive besonders für die Auflicht-Fluoreszenz geeignet sind. Weit aus ihren Gruppen heraus ragen hier Objektive wie 10/0,45, 25/0,80 und 40/1,30, die auch speziell für diesen Zweck konzipiert sind. Das mit ihren sehr großen Aperturen verbundene hohe Auflösungsvermögen kann mit den üblichen 10fach-Okularen zumindest visuell nicht genutzt werden, weil dann die förderliche Vergrößerung – 500 × NA(Obj.) bis 1000 × NA(Obj.) – bei Weitem nicht mehr erreicht wird.

Einige Betrachtungen zur visuellen Wahrnehmung

Visuell – also empfindungsmäßig – werden solche physikalisch-objektiven Helligkeitsunterschiede aber nicht als linear wahrgenommen. So löst eine Verdoppelung objektiver Reizintensitäten keine Verdoppelung der entsprechenden subjektiven Empfindungsintensitäten aus. Diese stellen sich empirisch oft als eher logarithmisch dar (Weber-Fechner'sches Gesetz).

Eine etwas andere Beschreibung der durch physikalische Reizgrößen I erzeugten Empfindungsintensitäten S gibt die Stevens'sche Potenzfunktion (von Campenhausen, 1981). Speziell für das Empfinden der Helligkeit (Intensität I) von Lichtflecken im Dunklen – was ja in etwa zur Fluoreszenz-Mikroskopie passt – gilt danach S ~ I^0,33. Das sei hier versuchsweise angewandt auf die für die aufgeführten Objektive berechneten (relativen) Beleuchtungsstärken E,r. Die danach als visuell empfunden berechneten Bild-Helligkeitswerte S = (E,r)^0,33 wurden jeweils zum Vergleich mit in die Tabelle eingestellt.

Der Verfasser hat allerdings Schwierigkeiten, zum Beispiel ein Bild als genau „dreimal so hell" wie ein anderes zu empfinden. Dennoch ließ der visuelle Helligkeitsvergleich des gleichen Objektes durch verschiedene Objektive – zweckmäßig bei schnell alternierender Beobachtung – die aus Tabelle 1 ablesbaren Helligkeitsrangfolgen meist recht gut nachempfinden. Bei den 10fach Objektiven war der Unterschied zwischen dem Neofluar und den Achromaten unmittelbar und sehr deutlich, zwischen Letzteren aber merklich schwieriger wahrzunehmen. Auch ihre berechneten S-Werte spiegeln das in etwa wieder. Da die Fluoreszenz mit der Zeit „ermüden" kann, muss man den beobachteten Objektbereich immer mal wechseln.

Solche Betrachtungen zur Bildhelligkeit – insbesondere auch der psycho-physikalischen Aspekte – werden nach Kenntnis des Verfassers in den meisten Fachbüchern der Mikroskopie kaum oder nur recht knapp behandelt. Seine

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

hier zum Teil sicher mehr intuitiv angestellten Vergleiche könnten aber eventuell anregen, sich auch selbst mal experimentell mit diesem etwas abgelegenen, aber vielleicht doch ganz reizvollen Gebiet zu beschäftigen.
Wie immer bin ich aus eigenem Interesse für ergänzende Hinweise und eventuell notwendige Richtigstellungen offen und fordere dazu auf.

Literaturhinweise

Becker, E.: Fluoreszenzmikroskopie. Ernst Leitz, Wetzlar 1983.
Beyer, H., Riesenberg, H.: Handbuch der Mikroskopie. VEB Verlag Technik, Berlin 1988.
Von Campenhausen, C.: Die Sinne des Menschen, Band 1: Einführung in die Psychophysik der Wahrnehmung. Thieme, Stuttgart 1981.
Göke, G.: Moderne Methoden der Lichtmikroskopie. Franckh, Stuttgart 1988.
Holz, H. M.: Was man von der Fluoreszenz-Mikroskopie wissen sollte. Carl Zeiss, 1979.
Kühlke, D.: Optik. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main 1998.
Michel, K.: Die Grundzüge der Theorie des Mikroskops. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart 1964.
Piller, H.: Microscope Photometry. Springer Verlag, Berlin 1977.

Verfasser: Dr. Hinrich Husemann,
Molinder Grasweg 31, 32657 Lemgo,
Tel.: 0 52 61/7 16 96

Kurze Mitteilung

Die Plastiden-Teilung

Teilen sich die Plastiden durch interne, plastidäre Stroma-Proteine, die gemäß der Phylogenie der Plastiden prokaryotischer Natur wären, oder werden sie geteilt durch externe Proteine aus dem Cytosol, die eukaryotischer Natur wären, oder kooperieren Stroma- und Cytosol-Proteine? Yang et al. (2008) haben kürzlich zusammengestellt, was man heute über diese Fragen weiß.
Schon seit einiger Zeit ist bekannt, dass bei der Plastiden-Teilung Homologe des bakteriellen Teilungsproteins FtsZ mitwirken. Das FtsZ-Protein ist eine dem Tubulin (das Protein, aus dem die Mikrotubuli aufgebaut sind) ähnliche GTPase. Es bildet bei Bakterien einen Ring in der Teilungsebene. Chlorobionten (Grünalgen und die daraus entstandenen höheren Pflanzen) haben Gene für zwei FtsZ-Proteine. Sie sind nun im Zellkern lokalisiert. Die von ihnen kodierten Proteine sind aber im Plastiden-Stroma aktiv. Sie bilden dort einen Ring aus Protofilamenten. Das wird durch das Protein ARC6 kontrolliert, das in der inneren Membran der Plastidenhülle sitzt. Die Proteine ARC3, MinD und MinE sorgen dafür, dass dieser Ring richtig platziert in der Plastiden-Mitte entsteht und an der inneren Membran der Plastidenhülle verankert wird. Alle diese Proteine gibt es in ähnlicher Form und Funktion auch in Bakterien.
Aus dem Cytosol lagert sich das Protein ARC5 außen an die äußere Hüllmembran an, dort wo sich innen der Ring befindet. ARC5 ist eine GTPase und gehört zu den Dynaminen. Das sind Proteine, die unter anderem am aneinander entlang Gleiten der Mikrotubuli beteiligt sind. Verwandte Proteine fungieren bei der Teilung von Mitochondrien, Peroxisomen und Vesikeln.
An der Kontaktaufnahme von ARC5 (außen) und dem FtsZ-Ring (innen) sind die Proteine PDV1 und PDV2 beteiligt, welche die äußere Hüllmembran durchziehen und Kontakt mit ACR6 (innen) und ACR5 (außen) haben. Es entsteht so der ARC5-Ring. Der bildet schließlich Spiralen, wodurch sein Durchmesser verkleinert und die Plastide durchgeschnürt wird.
Bislang ist noch ungeklärt, wie die beiden Teilungsringe, der äußere, eukaryotische und der innere, prokaryotische zu einer konzertierten Aktion koordiniert werden. Ebenso weiß man noch nicht, wie die Pflanzenzelle die Plastidengröße misst und reguliert und wie bei einzelligen Algen mit nur einem Chloroplasten Zellteilung und Plastidenteilung aufeinander abgestimmt werden.

Literaturhinweis

Yang, Y., Glynn, J. M., Olson, B. J. C., Schmitz, A. J., Osteryoung, K. W.: Plastid division: across time and space. Curr. Opinion Plant Biol. 11, 577–584 (2008).

Eberhard Schnepf, Heidelberg

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

Kapselförmige Bakterienkolonien dienen gleichzeitig als Brutstätte und Falle für Nematoden (Rhabditida)

Rolf Michel und Karl-Dieter Müller

Fadenwürmer (Nematoden) kommen als wichtige Mitglieder von Biocoenosen in den meisten Kulturböden vor. Hier stellen sie in der Regel nach den Protozoen die individuenreichste Tiergruppe dar. Ebenso sind sie im mikrobiellen Bewuchs (Biofilm) von Seen und Flüssen anzutreffen. Zu den rein freilebenden Arten finden sich zahlreiche Arten, die entweder in Pflanzen parasitieren oder als gefährliche Parasiten von Insekten und Warmblütern bekannt sind, wozu auch die in warmen Ländern im Boden lebenden humanpathogenen Arten gehören wie beispielsweise die Hakenwürmer oder *Strongyloides stercoralis*, der Zwergfadenwurm. Diese Endoparasiten dringen über die Haut in den Körper des Menschen ein und können zu bedrohlichen Darmerkrankungen führen.

Diese Schädlinge und Parasiten selbst dienen nun genauso wie die rein saprophytischen Nematoden, die sich von Bestandsabfall ernähren, größeren tierischen Organismen wie zum Beispiel der Fischbrut als Nahrung. Darüber hinaus sind sie vor allem Nachstellungen durch endoparasitische und räuberische Pilze ausgesetzt (Dowe, 1987). Die nematophagen Pilze bilden zum Einfangen von Nematoden sehr spezialisierte Fangorgane, wie die zum Teil kontraktilen Fangschlingen oder die mit einer klebrigen Substanz überzogenen Fangnetze. Es konnten kürzlich drei Beispiele nematophager Pilze aus unterschiedlichen Habitaten isoliert, in ihrer Entwicklung beobachtet und dokumentiert werden (Michel, 2007).

Mikroskopische Beobachtungen

Dass nun aber nicht nur Pilze raffinierte Fangmethoden entwickeln können, sondern auch Bakterien, konnten wir kürzlich an einem Isolat von Proben mit Amöben und Nematoden beobachten, das aus dem Filterschlamm eines Zierfischaquariums gewonnen wurde. Nach Übertragung der sich entwickelnden Mischkultur von Amöben und Nematoden auf Agarplatten (1,4 % Agar), die mit Mineralwasser hergestellt wurden, bildeten sich innerhalb weniger Tage

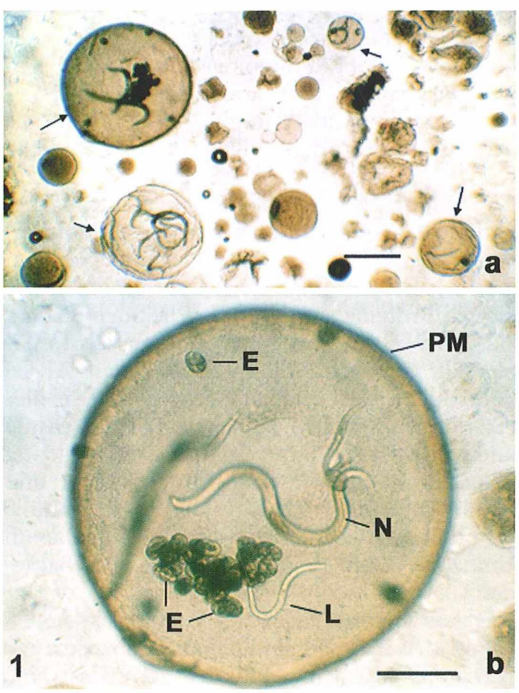


Abb. 1: a Zahlreiche kugelförmige Bakterienkolonien auf der Agaroberfläche von 10 µm bis zu einigen 100 µm Durchmesser, von denen einige bewegliche Nematoden und deren Eier enthalten (Pfeile). b Eine vergrößerte Bakterienkolonie lässt adulte Nematoden (N), deren Larven (L) und zahlreiche Eier (E) erkennen. Sie wird nach außen durch eine von Bakterien gebildete Pseudomembran (PM) begrenzt. Maßstriche 100 µm.

bei Raumtemperatur überraschend hohlkugelförmige Bakterienkolonien mit Durchmessern von 10 µm bis einigen 100 µm. In die meisten von ihnen wanderten die noch im Probenmaterial enthaltenen rhabditiformen Nematoden ein, die dann offensichtlich nicht in der Lage waren, eine aus Bakterien gebildete Pseudomembran wieder nach außen zu durchdringen (Abb. 1 und 2).

In der Folgezeit konnte man auch das Absetzen einzelner oder zahlreicher Nematodeneier innerhalb der unterschiedlich großen Globuli beobachten (Abb. 1b). Aus ihnen schlüpften nach ihrer Ausreifung Nematodenlarven, die ebenfalls nicht in der Lage waren, diese kugelförmigen Fallen zu verlassen. Sie wuchsen dennoch heran und starben schließlich in den inzwischen 2–3 Wochen alten Kulturplatten innerhalb der Globuli ab, wo sie durch die Bakterientätigkeit zersetzt wurden. Nur gelegentlich gelingt es adulten Nematoden – meist nach der Eiablage – die hohlkugelförmigen Gebilde zu verlassen, wie das Beispiel in Abbildung 2a zeigt, bei dem nur Eier aber keine Fadenwürmer im Inneren einer solchen Kugel zu erkennen sind.

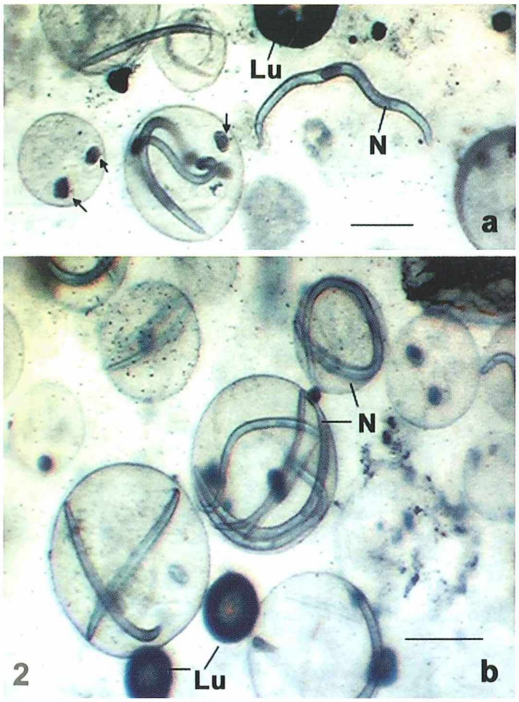


Abb. 2: a Ein freier Nematode (N) und Globuli mit adulten Nematoden und deren Eier (Pfeile). b Weitere Globuli mit einzelnen oder mehreren gefangenen Nematoden. Lu Luftblase. Die Aufnahmen sind Auskoppelungen aus digitalen Videoaufnahmen. Maßstriche 100 µm.

Deutung dieses Phänomens

Es ist schwierig, dieses Phänomen richtig zu deuten. Da die Nematoden in älteren Globuli regelmäßig absterben, ist man auf den ersten Blick geneigt, eine solch ungewöhnliche Bakterienformation als Falle zum Nematodenfang anzusehen. Passend zu dieser Annahme werden die Nematoden offensichtlich von neugebildeten Globuli chemotaktisch angezogen, sodass sie ins Innere der Kugeln eindringen und hier sogar vorzugsweise ihre Eier absetzen.

Im Sinne einer Objektivität könnte man jedoch auch annehmen, dass rein zufällig eine solche Konstellation entsteht, da Nematoden auch sonst stärkere Bakterienanhäufungen aufsuchen, sich hier von Bakterien ernähren und auch vermehrt ihre Eier ablegen. So gesehen ist der ganze Vorgang eventuell nur ein Betriebsunfall der Natur, der zum Absterben der Nematoden in einer speziellen Kolonieform bestimmter Bakterienarten führt. Es werden nämlich auch derartige Kugeln in Abwesenheit von Nematoden gebildet, wenn man die Begleitbakterien getrennt auf diese Agarplatten überträgt.

Identifizierung der beteiligten Bakterien

Im Anschluss an diese unerwarteten Beobachtungen war es von Interesse zu erfahren, welche Bakterien möglicherweise an der Bildung solcher Hohlformen beteiligt sind. Die gaschromatografische Untersuchung der Begleitflora im mikrobiologischen Institut der Universität in Essen ergab zwei verschiedene Bakterienarten: *Comamonas acidovorans* und *Ochrobacterium anthropi*. Die zweite Art ist bekannt für ihre Rolle bei der Biofilmbildung in marinen Sedimenten (Lee et al., 2003), was die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass sie auch bei der Bildung der Nematodenfallen maßgeblich beteiligt sind.

Vergleich mit ähnlichen Kapselbildungen im Nordseewasser

Ähnliche, jedoch durchschnittlich viel größere, als Sphären bezeichnete Gebilde beobachteten

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

Brehm et al. (2003) in Mischkulturen, die sich aus Proben mit Nordseewasser entwickelten. Nach dieser Beschreibung formte sich eine kugelförmige Hülle, in die zunächst fadenförmige Cyanophyceen der Gattung *Phormidium* eindrangen, um an der Innenwand im Kreise entlangzugleiten, ohne die Hülle wieder nach außen verlassen zu können. Dadurch entstanden kompakte, aus diesen Cyanophyceen bestehende Schichten im Inneren der Sphären. Im Innenraum vermehrten sich außerdem ebenfalls „gefangene" Diatomeen (*Navicula perminota*). Im Unterschied zu den hier beschriebenen Assoziationen mit Nematoden wurden die Cyanophyceen und die gefangenen Diatomeen nach dem Zerfall der Hülle in alten Kulturen wieder unversehrt frei. Die Beziehung der drei genannten Organismen wurde von Brehm et al. (2003) als eine von ihnen erstmals beschriebene, komplexe Lebensgemeinschaft im mikrobiellen Bewuchs von Meerwasserhabitaten der Nordsee gedeutet. Über eine Identifizierung der an der Bildung ihrer Sphären beteiligten Bakterienarten wurde jedoch von den Autoren nicht berichtet, sodass ein direkter Vergleich mit unseren beiden Bakterienisolaten nicht möglich ist.

Literaturhinweise

Brehm, U., Krumbein, W. E., Palińska, K. A.: Microbial spheres: a novel cyanobacterial-diatom symbiosis. Naturwissenschaften 90, 136–140 (2003).

Dowe, A.: Räuberische Pilze und andere pilzliche Nematodenfeinde. Die neue Brehm-Bücherei, 2. Auflage. A. Ziemsen-Verlag, Wittenberg Lutherstadt 1987.

Lee, Y. K., Kwon, K.-K., Cho, K. H., Kim, H. W., Park, J. H., Lee, H. K.: Culture and identification of bacteria from marine biofilms. J. Microbiol. 41, 183–188 (2003).

Michel, R.: Anzucht von nematophagen Pilzen und Beobachtung ihrer ausgeklügelten Fangmethoden. Mikrokosmos 96, 233–236 (2007).

Verfasser: Dr. Rolf Michel, Wiedhöhe 2, 56581 Melsbach, und
PD Dr. Karl-Dieter Müller, Institut für medizinische Mikrobiologie des Universitätsklinikums Essen, Robert-Koch-Haus, Virchowstraße 179, 45147 Essen

Kurze Mitteilung

Zur Nektar-Ausscheidung bei Arabidopsis

Über die genetische Steuerung der Nektarsekretion weiß man bislang erst sehr wenig. Ruhlmann et al. (2010) gelang es jetzt, ein Gen zu entdecken, von dem direkt die Nektarproduktion in den Blüten der Modellpflanze *Arabidopsis thaliana* (Ackerschmalwand) abhängt. Sie fanden, dass das Gen für die Zellwand-Invertase 4 in den Nektarien sehr stark exprimiert wird. Invertasen spalten das Disaccharid Saccharose in die Hexosen Glucose und Fructose. Der *Arabidopsis*-Nektar enthält hauptsächlich diese Hexosen. Zwei Mutanten, bei denen dieses Gen nicht mehr richtig funktioniert, produzieren beide keinen Nektar mehr. Das Gewebe um die Nektarien herum enthält allerdings mehr Stärke als normal, nicht jedoch die eigentlichen Nektarien. Die sind frei von Stärke, auch die Schließzellen der Stomata hier. Beim Wildtyp enthalten sie viel Stärke. Die Zellwand-Invertase 4 scheint also zu bewirken, dass die Nektarien selbst stetig mit Zucker versorgt werden, immer einen „Sink" darstellen, der für die Zuckerausscheidung nötig ist.

Literaturhinweis

Ruhlmann, J. M., Kram, B. W. E., Carter, C. J.: Cell wall invertase 4 is required for nectar production in *Arabidopsis*. J. Exp. Bot. 61, 395–404 (2010).

Eberhard Schnepf, Heidelberg



Historische Anzeige

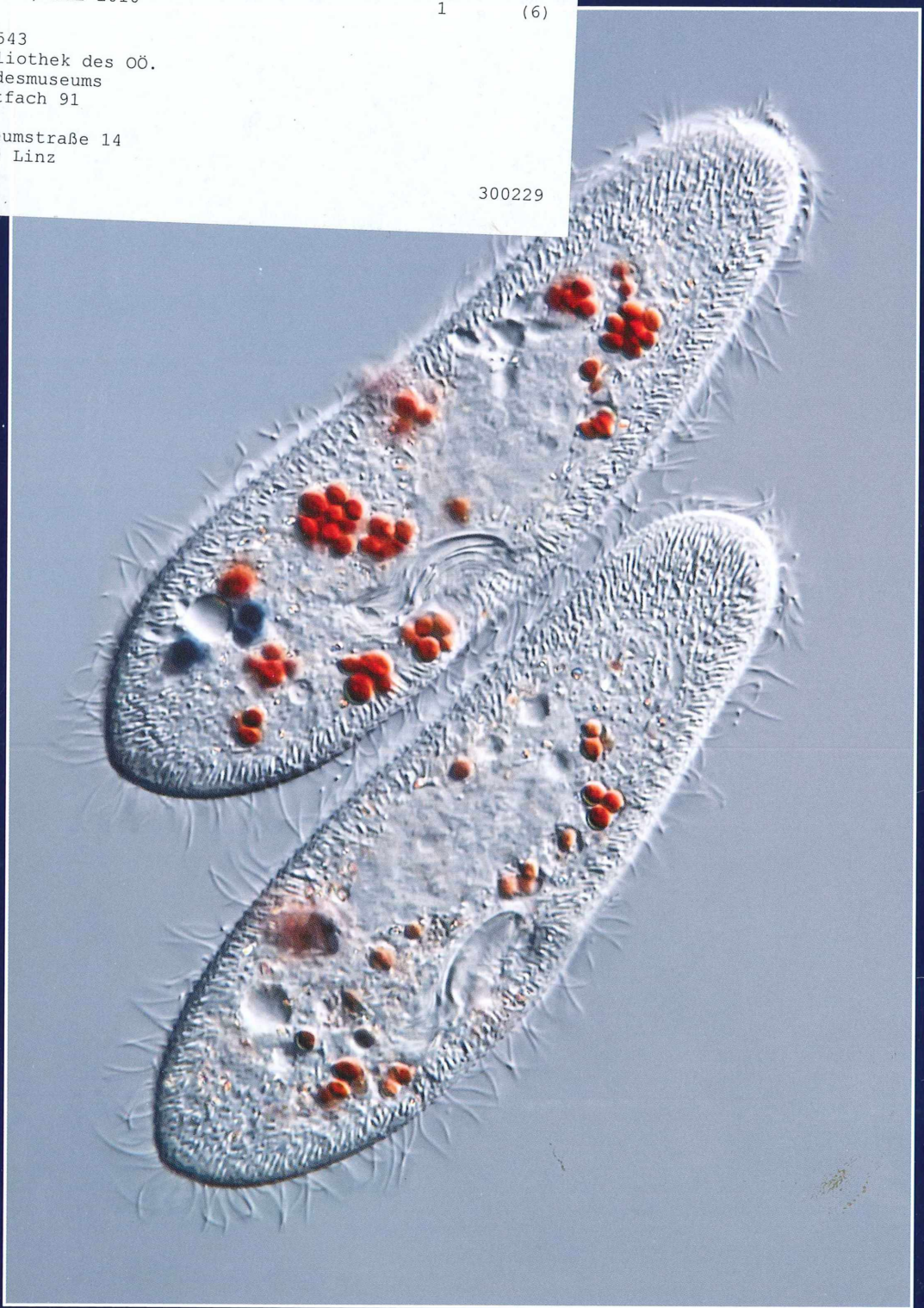
Mikrokosmos
Heft 3, Mai 2010

1 (6)

510543
Bibliothek des OÖ.
Landesmuseums
Postfach 91

Museumstraße 14
4010 Linz

300229



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mikrokosmos, Zeitschrift für Mikroskopie

Jahr/Year: 2010

Band/Volume: 99_3

Autor(en)/Author(s):

Artikel/Article: Mikrokosmos 99_3 1