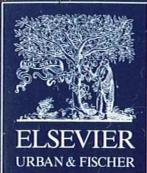


II 90372/96,6



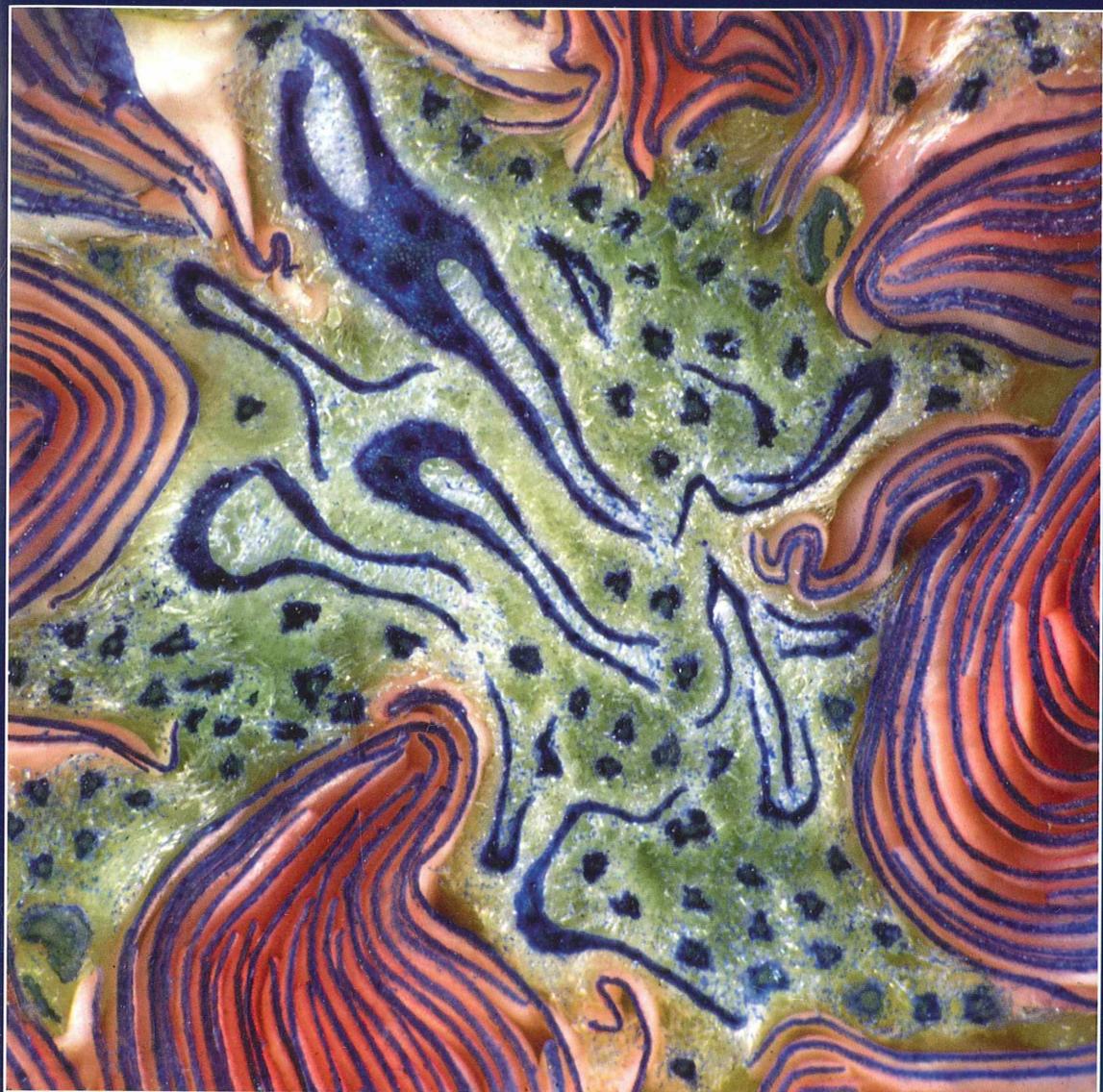
# MIKROKOSMOS



Heft 6  
96. Jahrgang  
November 2007

◆ [www.elsevier.de/mikrokosmos](http://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)

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., Deutsche Mikrobiologische Gesellschaft Stuttgart, Mikrobiologische Vereinigung im Naturwissenschaftlichen Verein zu Hamburg, Mikrobiologische Vereinigung München, Mikroskopische Gesellschaft Wien, Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft der Naturwissenschaftlichen Vereinigung Hagen e.V., Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft Hannover, Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft Mainfranken, Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft Stuttgart, Mikroskopische Gesellschaft Zürich, Tübinger Mikroskopische Gesellschaft e.V.

## Inhalt

### Artikel

- 321** Mit dem Exkursionsmikroskop am Mittelmeer –  
Mikroskopische Beobachtungen an der Leuchtqualle  
(*Pelagia noctiluca*)  
*Rudolf Drews*
- 325** Von welchem Baum stammt das Holz?  
Teil 1: Nadelhölzer  
*Siegfried Hoc*
- 329** Mikroskopie in der Schule zwischen 1871 und 1914  
Teil 2: Mikroskope, mikroskopische Präparate und  
Lehrerfortbildung  
*Jürgen Hartwig Ibs*
- 339** Anschnitt im Auflicht – Lupenfotos mit dem Zeiss-Tessovar  
*Erich Lüthje*
- 345** *Eutintinnus inquilinus* – Ein anhänglicher Ciliat  
*Rudolf Drews und Klaus Hausmann*
- 349** Digitale Blitzlichtfotografie mit einem Stereo-Zoom-Mikroskop  
*Helmuth Michelbach*
- 357** Maritime Bionik: Schlangensterne  
Teil 1: Mundwerkzeuge und Stacheln  
*Wolfgang Hasenpusch und Torsten Zaiß*
- 367** Endoreduplikation beeinflusst die Größe und  
das Differenzierungspotential von Pflanzenzellen  
*Eberhard Schnepf*
- 378** Keiner klebt so stark wie *Caulobacter*  
*Annett Burzlauff*

### Rubriken

- 328, 338, 343, 363, 365**  
Buchbesprechungen
- 344**  
Nachruf
- 348, 356, 366**  
Kurze Mitteilungen
- 364**  
Nachricht
- 377**  
Aus der Industrie
- 381**  
Mikro-Ufo
- 382, 383**  
Aus den  
Arbeitsgemeinschaften
- 383, 384**  
Mikro-Markt

Im elektronischen MIKROKOSMOS-ARCHIV [www.elsevier.de/mikrokosmos](http://www.elsevier.de/mikrokosmos) werden mit Erscheinen dieses Heftes sechs Artikel zum Thema „Bakteriologie“ aus dem von Hanns Günther, Stuttgart, neubearbeiteten Sammelband 1–3 (1907–1910) wiedergegeben.

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

Umschlagabbildung: Querschnitt durch eine Rosenknospe. Siehe Artikel E. Lüthje, S. 339–343

# Mit dem Exkursionsmikroskop am Mittelmeer – Mikroskopische Beobachtungen an der Leuchtqualle (*Pelagia noctiluca*)

Rudolf Drews

**Warme Meere üben nicht nur auf die zahlreichen Sonnenanbeter und Wasserratten eine eigentümliche Anziehungskraft aus. Auch Wasserfreunde anderer Art sieht man – wenn auch meist als seltene Einzelercheinung – mit Käscher oder Planktonnetz die fremden Gestade besuchen. Es sind Hobby-Meeresbiologen, die sonst kaum Gelegenheit haben, die „Wunder des Meeres“ live zu erleben. Ein mitgeführtes Reise-mikroskop erweitert den Blick in das Meeresleben erheblich.**

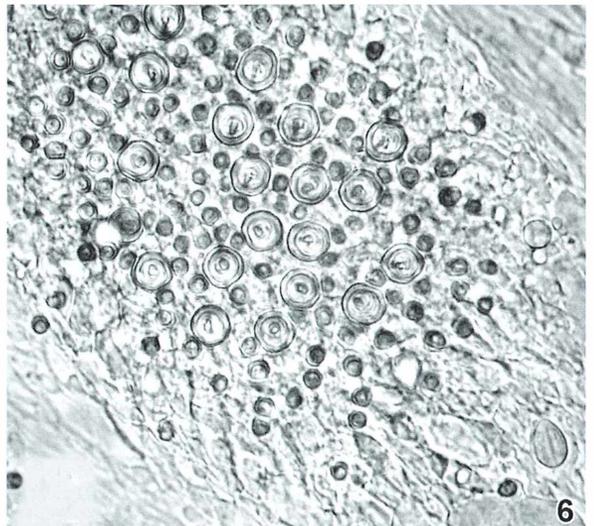
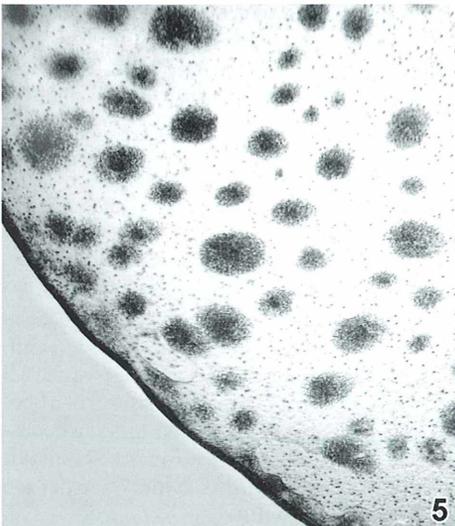
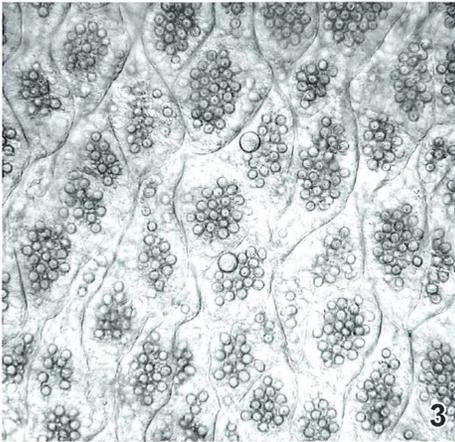
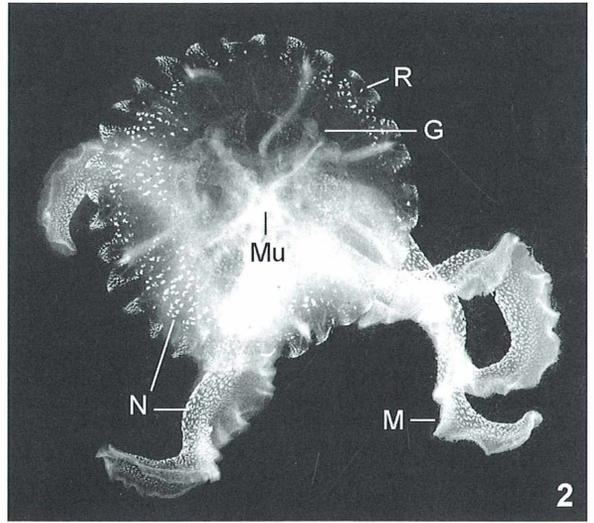
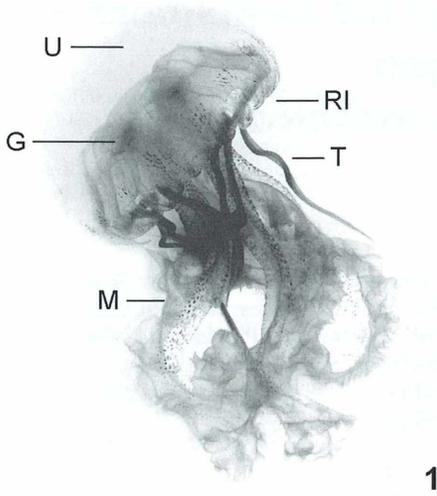
Im Gegensatz zu konservierten Organismen zeichnen sich frisch dem Meer entnommene Lebewesen dadurch aus, dass sie noch ihre natürlichen Farben haben, und dass auch ihre Formen nicht durch Fixiermittel verändert wurden. Zudem leben sie und zeigen, wie sie sich bewegen. So war denn das eigentliche Einsatzfeld des Exkursionsmikroskops die Beobachtung und Dokumentation lebenden Mikroplanktons. Da jedoch jüngst (Hausmann, 2006a und b) und einige Jahre zuvor (Drews, 1998a und b, 1999a und b) darüber im Mikrokosmos zusammenfassend berichtet worden ist, soll nun gezeigt werden, dass die mikroskopische Untersuchung auch größerer Organismen seinen Reiz hat. Wegen ihrer natürlichen Transparenz eignen sich dazu Medusen ganz besonders. Sämtliche Aufnahmen wurden von lebendem Gewebe gemacht.

## Das Gerät

Die Voraussetzungen für gute Mikroaufnahmen sind ein gutes Mikroskop, eine ordentliche Lichtquelle und – lange Erfahrung. Als Exkursionsmikroskop hat das Gerät klein und leicht zu sein! Dasselbe gilt für die Kamera. Seit vielen Jahren besitze ich das kleine, für Exkursionen konzipierte Inversmikroskop SM-31 von Swift mit Objektführer. Es ist mit einem kleinen Kondensator ohne Aperturblende ausgestattet und hat einen Aufsatz für eine Batterieleuchte. An deren Stelle verwende ich eine kleine LED-Leuchte (netzunabhängig); den Bildkontrast optimiere ich mit einem selbst ge-

bastelten Blendschieber. Für die Mikrofotografie bringt die digitale Technik mehrere Vorteile. Ich benutzte daher im Vorjahr die Coolpix 995 von Canon, habe aber diesmal der Cybershot T 33 von Sony den Vorzug gegeben. Die Kamera verfügt über mehr als 5 Millionen Pixel und ein großes Display (doppelt so groß wie das der Coolpix). Außerdem ist die Kamera wesentlich kleiner. Sie hat wie die Coolpix eine Innenfokussierung, so dass ihre Objektivöffnung stabil mit einem Okular (Olympus 10× WF) verbunden werden konnte. Zur Beobachtung und Bildaufnahme wird die Kamera okularseits in den Mikroskoptubus gesteckt. Zur Vermeidung einer Vignettierung muss etwas gezoomt werden. Das große Display mit feinem Raster erlaubt eine recht gute Kontrolle der Bildschärfe, was mit der Coolpix nur sehr bedingt möglich war. Eine 125 MB Speicherkarte sowie ein leichtes Notebook mit einem Bildbearbeitungsprogramm vervollständigen die Ausrüstung.

Die Objektive des Mikroskops sind für Objektträger von Deckglasdicke konzipiert. Ich habe in Franke-Zellen aus Kunststoff (Objektträgerformat) ein zentrales Loch von etwa 1 cm Durchmesser gebohrt und den Boden flächenbündig mit einem Deckglas geschlossen. So habe ich Mikrokammern zur Verfügung, deren Höhe ich durch Herunterfeilen variieren kann. Zur Untersuchung wird die Kammer randvoll gefüllt und mit einem Deckglas blasenfrei abgeschlossen. Sämtliche Aufnahmen sind mit Objektiven der Maßstabszahl 4× bis 40× gemacht worden. Für Phasenkontrastbilder wurde ein anderes Mikroskop benutzt.



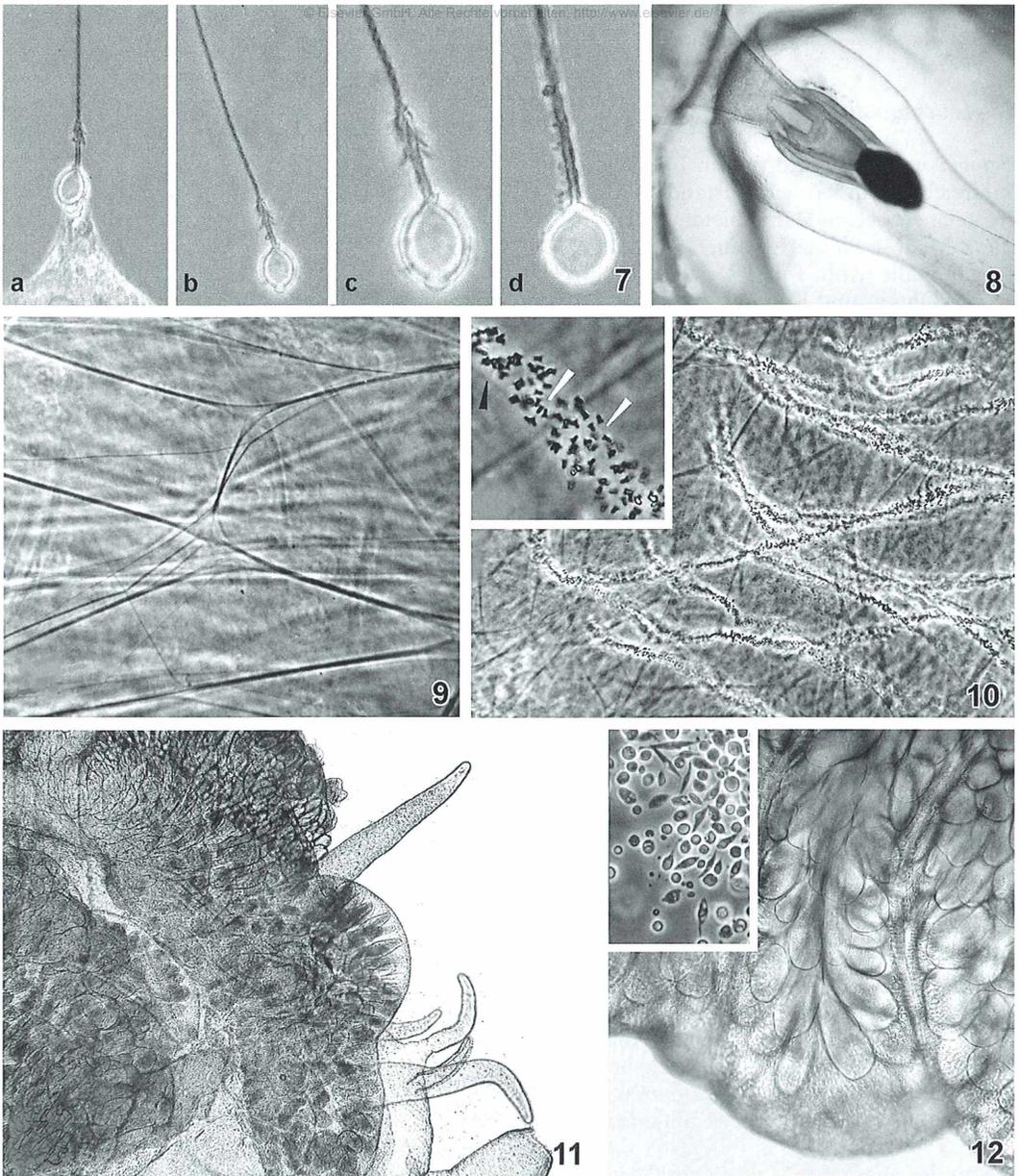


Abb. 7: Zwei Nesselkapseltypen im explodierten Zustand (7a noch im Gewebeverband, was normalerweise der Fall ist). – Abb. 8: Rhopalium, ein zwischen den Randlappen befindliches Schweresinnesorgan. Der dunkle Bereich ist eine Anhäufung von Kalkkriställchen. – Abb. 9: Fasernetz der Schirmaußenseite. – Abb. 10: Schlauchförmige Bakterienkammern (?) in der Oberflächenschicht des Schirmes. Die weißen Pfeilspitzen weisen auf zum Teil T-förmige Partikel (Bakterien?), der schwarze auf die Schlauchgrenze. Die Schläuche laufen an beiden Enden spitz zu. – Abb. 11: Männliche Keimdrüsen (Gonaden) und Gastralfilamente. – Abb. 12: Traubenförmige männliche Gonade. Im Bildeinsatz Spermien in unterschiedlichem Reifezustand (Spermatocyten II. Ordnung und Spermatiden).

◀ Abb. 1 und 2: Die Leuchtqualle *Pelagia noctiluca*. Seitenansicht (Abb. 1) und Unterseite (Abb. 2). G Gonade, M Mundarm, Mu Mundöffnung, N Nesselzellanhäufung, R Rhopalium, RI Randlappen, T Tentakel, U Schirm. – Abb. 3: Tentakel mit Nesselzellhaufen. – Abb. 4: Nesselzellen (= Nematocyten = Cnidocyten). Drei verschiedene Typen mit spiralförmig aufgerolltem Nesselfaden. – Abb. 5: Teilansicht des Mundarmrandes. Die Flecken sind Anhäufungen von Nesselzellen. – Abb. 6: Vergrößerung aus Abbildung 5. Es sind zahlreiche Cnidocyten erkennbar. Die Anhäufung wird von einem lockeren Epithel umgeben.

## Die Leuchtqualle

*Pelagia noctiluca* wird in den Herbstmonaten zahlreich und in fertilem Zustand an Mallorcas Küste angetrieben. Daher bietet es sich an, sich diese Meduse einmal genauer anzusehen. Die Leuchtqualle (Abb. 1 und 2) gehört ebenso wie unsere Ohren- und Kompassqualle zu den Scyphozoen, die unter anderem dadurch ausgezeichnet sind, dass sie um die viereckige Mundöffnung häufig vier lange Mundarme tragen und in regelmäßigen Abständen zwischen den Randlappen des Schirmes so genannte Rhopalien, spezielle Schweresinnesorgane (Abb. 2 und 8). Durch Lageveränderung der Meduse und Auslenkung des Kolbens durch die Schwerkraft werden Sinneszellen gereizt, wodurch letztlich eine Lagekorrektur der Meduse erfolgt.

Am Schirmrand befinden sich außer den Randlappen dicht mit Nesselzellen (Cnidozyten) besetzte Tentakel (Abb. 1, 3, 4). Die girlandenartigen Mundarme sowie die Randlappen tragen in fleckenförmiger Anordnung ebenfalls Gruppen von Nesselzellen (Abb. 5 und 6). Hier, wie auch auf den Tentakeln, sind diffus zwischen den Nesselzellen karminrote Pigmente in anscheinend gelöster Form (Pigmentpartikel waren mit dem 40× Objektiv nicht erkennbar) verteilt, welche der Leuchtqualle ihre Färbung verleihen. Obgleich man für die Nesseltiere (Cnidaria) an die fünfzehn unterschiedliche Nesselzelltypen angibt, konnte ich bei der Leuchtqualle mit der vorhandenen Ausrüstung nur zwei eindeutig identifizieren (Abb. 4 und 7). Wahrscheinlich handelt es sich bei den in diesen beiden Abbildungen sichtbaren, dunkler dargestellten kleineren Zellen um einen dritten Typ.

Da zu der angegebenen Zeit die im Gegensatz zu den Hydromedusen entodermal gelegenen Keimdrüsen (Gonaden; Abb. 1) gereift waren, konnten von diesen Gewebeteile entnommen und unter dem Mikroskop betrachtet werden (Abb. 11 und 12). In deren unmittelbarer Nähe befinden sich die so genannten Gastralfilamente, mit wenig Cnidozyten besetzte und sich fortgesetzt wurmartig bewegende Fortsätze (Abb. 11).

Die männlichen Keimdrüsen – Medusen sind oft getrenntgeschlechtlich – sind von traubenartigem Innenbau. Die Aussackungen sind von einer Wand umgeben und enthalten Massen von Spermatozoen in unterschiedlichem Reife-

zustand (Abb. 12). Die Gonaden weiblicher Medusen fielen bisher nicht unter das eher zufällige Beobachtungsprogramm.

Zum Schluss der mikroskopischen Reise durch die Gewebe einer Meduse wenden wir uns dem Schirm zu. Ein Flächenschnitt parallel zur Schirmoberseite zeigt, dass die Gallerte eine zusätzliche Stabilisierung durch ein Netz von Fasern erhält, die von zeltförmigen Zellen ausgehen. Nur extreme Abblendung mit der Aperturblende und zusätzlich computerunterstützte Kontrastierung machen dieses Faserwerk sichtbar (Abb. 9). Zunächst unauffällige feinkörnige Linien entpuppten sich bei genauerem Hinsehen als unverzweigte, an beiden Enden spitz zulaufende Schläuche (Abb. 10). Liegt hier das Geheimnis des Leuchtvermögens dieser Medusen? Sind die Schläuche zu Bakterienkammern umgewandelte Zellen und die Körnchen symbiotische Leuchtbakterien? Darüber aufklärende Literatur ist mir nicht bekannt.

Nicht nur Medusen, auch andere mehr oder weniger transparente größere Meeresbewohner wie Fische, Seeanemonen, Kalmare, Garnelen und Algen halten für den Hobby-Meeresbiologen lohnende mikroskopische Einblicke bereit und machen so einen Aufenthalt am Meer zu einem Vergnügen ganz besonderer Art.

## Literaturhinweise

- Drews, R.: Plankton der Meere. Teil 1: Kieselalgen. *Mikrokosmos* 87, 257–262 (1998).
- Drews, R.: Plankton der Meere. Teil 2: Protozoen. *Mikrokosmos* 87, 369–374 (1998).
- Drews, R.: Plankton der Meere. Teil 3: Metazoenlarven. *Mikrokosmos* 88, 7–12 (1999).
- Drews, R.: Plankton der Meere, Teil 4: Metazoen. *Mikrokosmos* 88, 209–213 (1999).
- Hausmann, K.: Plankton der Meere – Einzellige Kostbarkeiten aus ozeanischem Oberflächenwasser. Teil 1: Diatomeen, Dinoflagellaten, Foraminiferen, Ciliaten. *Mikrokosmos* 95, 298–304 (2006).
- Hausmann, K.: Plankton der Meere – Einzellige Kostbarkeiten aus ozeanischem Oberflächenwasser. Teil 2: Radiolarien. *Mikrokosmos* 95, 362–368 (2006).
- Heeger, Th.: Quallen – Gefährliche Schönheiten. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart 1998.
- Westheide, W., Rieger, R. (Hrsg.): Spezielle Zoologie, Teil 1. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1996.

# Von welchem Baum stammt das Holz?

## Teil 1: Nadelhölzer

Siegfried Hoc

Bei verholzten Pflanzen und erst recht bei den Nadel- und Laubbäumen lassen sich art-spezifische Kennzeichen der Holz-anatomie feststellen, anhand derer man die verschiedenen Baumarten sogar dann bestimmen kann, wenn nur kleine Holzproben verfügbar sind. In der Regel genügen einfache Handschnitte, um den mikroskopisch-anatomischen Aufbau eines Holzes zu studieren. Nur wenige Baum- und Straucharten eines engeren Verwandtschaftskreises zeigen einen vollkommen identischen Aufbau ihres Holzes.

Das Holz der phylogenetisch bis in das Erdaltertum zurückweisenden Nadelbäume ist recht gleichförmig aus Tracheiden aufgebaut. Diese zum Teil mehrere Milli-meter langen, stark verholzten, toten Zellen lau-

fen an beiden Enden spitz zu (Abb. 1). Im mitteluropäischen Klima setzt in der Monatswende April/Mai die Bildung neuer Tracheiden ein, wenn das Kambium nach der Winterruhe seine Tätigkeit wieder aufnimmt und in zentripetaler

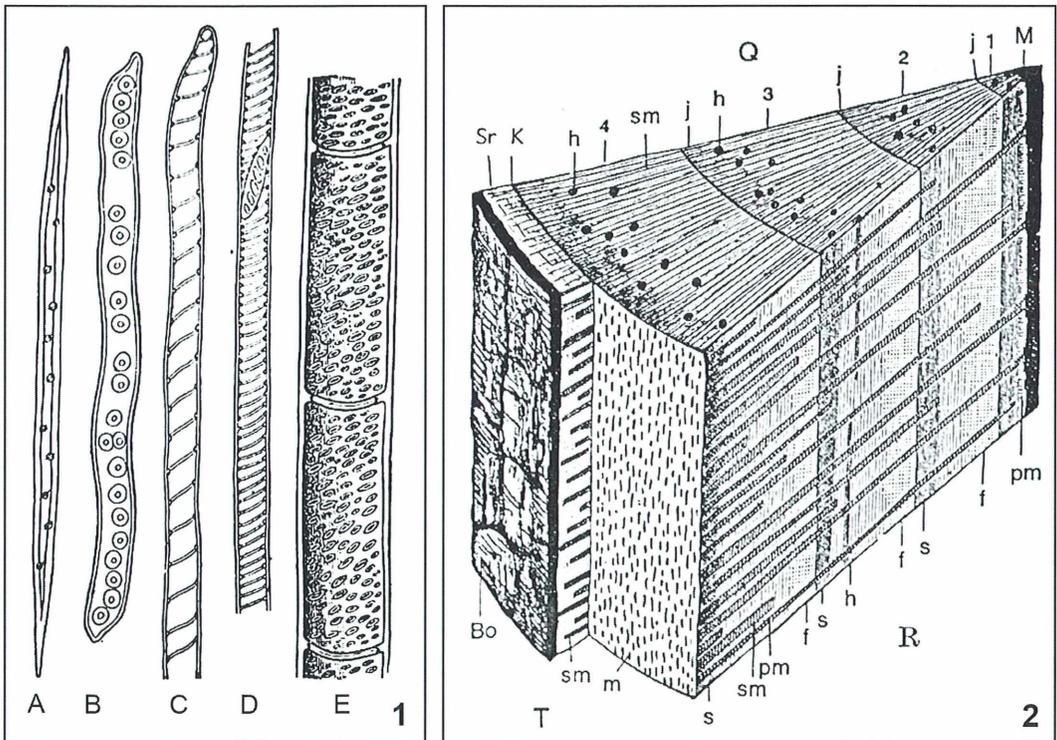


Abb. 1: Beispiele von isolierten Tracheiden und Tracheen. A Fasertracheide, B Hoftüpfeltracheide, C Schraubentracheide, D Treppentracheide, E Tracheen ohne Querwände (aus Strasburger, 1971). – Abb. 2: Stück eines Kiefernzweiges. Q Querschnitt, R Radialschnitt, T Tangentialschnitt. Bo Borke, f Frühholz, j Jahresgrenze (Jahresring), K Kambium, m Markstrahlen (im tangentialen Anschnitt), M Mark, pm primäre Markstrahlen, s Spätholz, sm sekundäre Markstrahlen (im radialen Längsschnitt), Sr sekundäre Rinde (Bast) (aus Strasburger, 1971).

Richtung, also zur Sprossachsenmitte Elemente des Xylems (Holzteil = Gefäßteil) abgibt. Das Kambium ist nämlich ein teilungsfähiges Gewebe, das ein sekundäres Dickenwachstum ermöglicht. Definitionsgemäß bezeichnet man alles vom Kambium nach innen erzeugte Gewebe – unabhängig vom Grad der Verholzung – als Holz, alles nach außen erzeugte als Bast.

### Tracheiden

Im Frühjahr setzt aber auch das Längenwachstum der Bäume ein. Der Wasserbedarf in den wachsenden Teilen ist dann besonders hoch, und folglich werden als Frühholz sehr weitlumige und dünnwandige Tracheiden angelegt.

Im Spätsommer (August/September) werden die Tracheiden zunehmend englumiger und dickwandiger. Sie bilden dann das kompakte Spätholz, das zum Frühholz der nachfolgenden Wachstumsperiode in einem auffallenden Kontrast steht. Der Unterschied zwischen Früh- und Spätholz bildet die Jahresringe. Die weitlumigen Tracheiden des Frühholzes dienen der Wasserleitung, die englumigen des Spätholzes sind in erster Linie Festigungsgewebe (Abb. 2). Die einzelnen Tracheiden stehen durch Hoftüpfel untereinander in Verbindung. Durch diese Ventileinrichtungen ist die Wasserleitung auch in tangentialer Richtung möglich (Abb. 3). In radialer Richtung erfolgt die Leitung über tracheidale Markstrahlzellen, in longitudinaler Richtung über die Tracheiden.

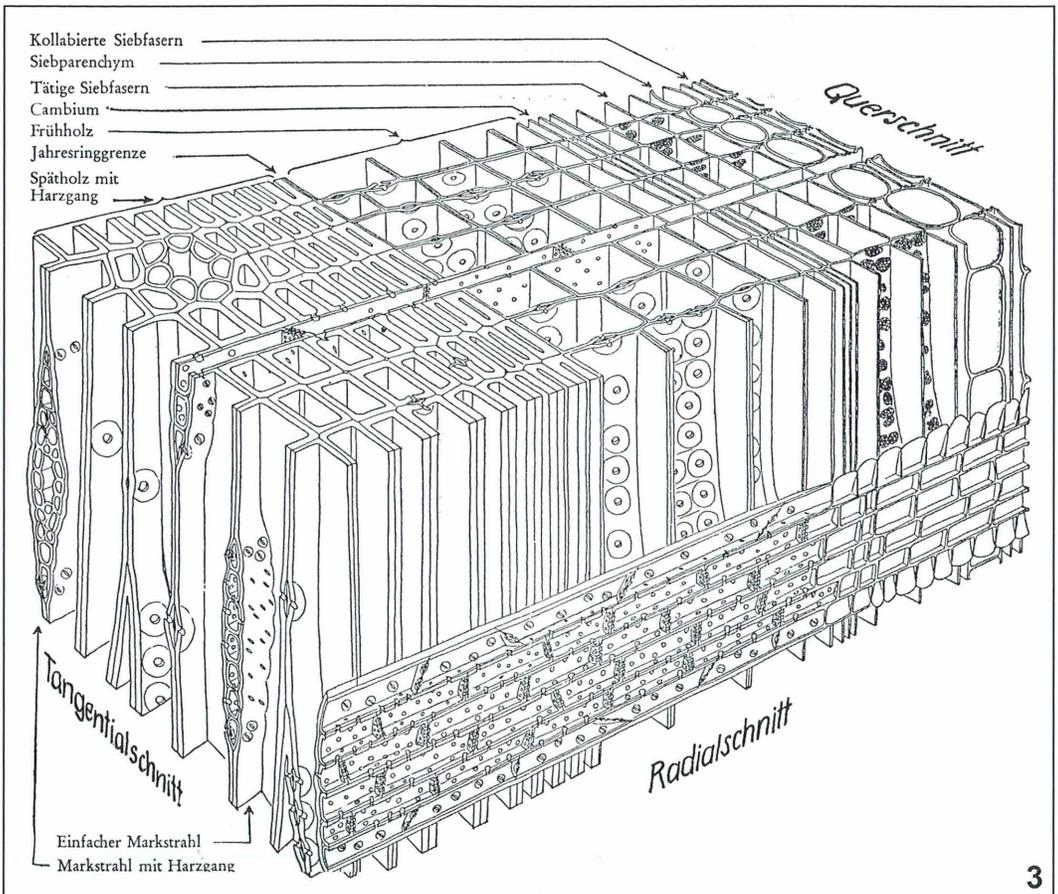


Abb. 3: Nadelholz im Blockdiagramm (aus Strasburger, 1971).

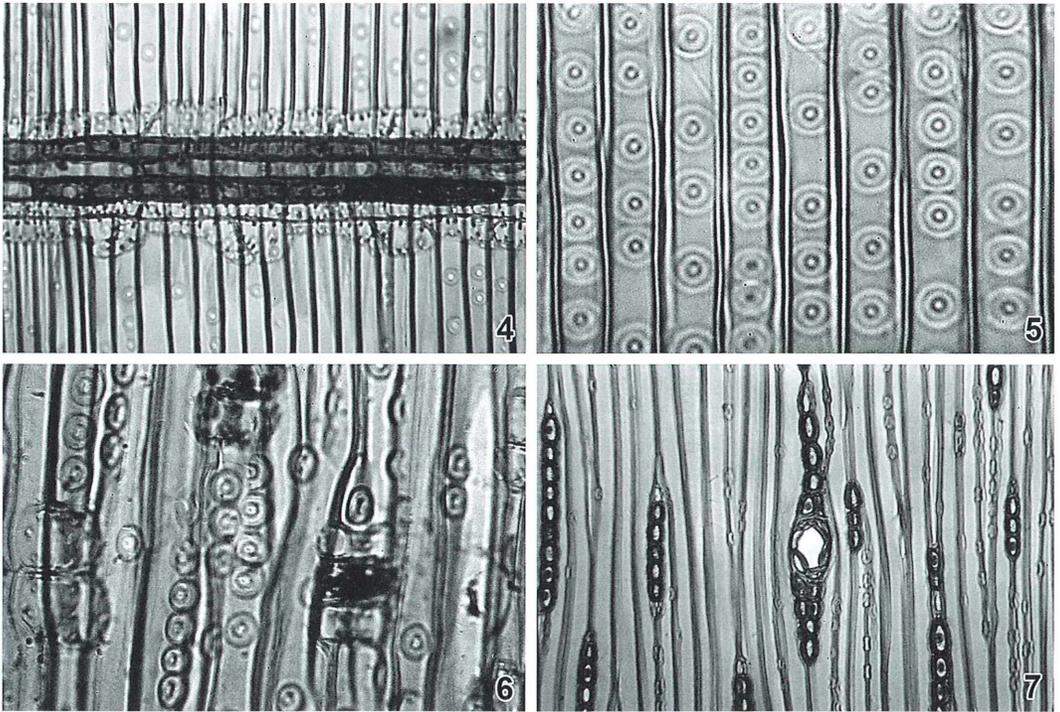


Abb. 4-7: Handschnitte von Nadelholz gefärbt nach Etzold. – Abb. 4 und 5: Kiefer. – Abb. 6: Lärche. – Abb. 7: Fichte.

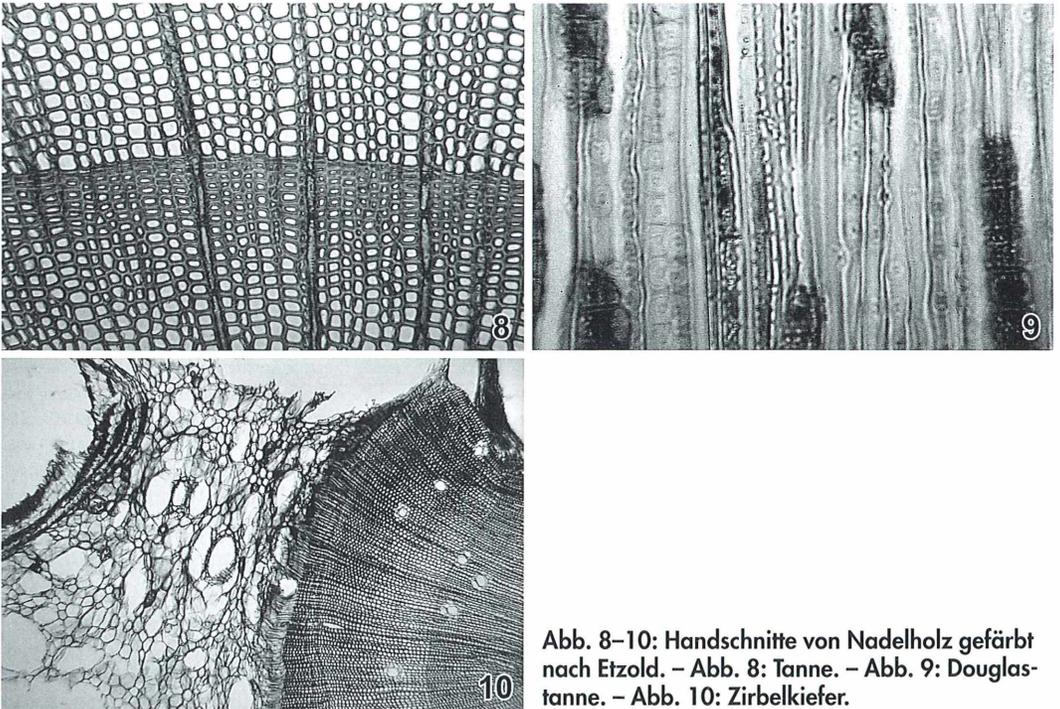


Abb. 8-10: Handschnitte von Nadelholz gefärbt nach Etzold. – Abb. 8: Tanne. – Abb. 9: Douglas-tanne. – Abb. 10: Zirbelkiefer.

## Parenchymatische Elemente

Den einheimischen Nadelhölzern fehlt ein eigentliches Speichergewebe. Parenchymatisches Gewebe kommt in kleinen Anteilen nur im Holz von Nadelbäumen der Südhalbkugel vor. Die einzigen regelmäßig auftretenden parenchymatischen Elemente im Nadelholz sind die Markstrahlen. Sie dienen dem Quertransport von Wasser und Nährstoffen. Sie verbinden das Xylem mit dem Bast der Rinde, und sie stehen mit den Harzgängen in Verbindung und bilden da Anastomosen. Die Harzgänge sind von lebenden Zellen ausgekleidet; lebende Zellen bilden auch die Markstrahlen. Über die Harzgänge erhalten die Markstrahlen Assimilate, die hier gespeichert werden (Abb. 3).

## Anatomie ausgewählter Nadelbäume

Eine typische Nadelholzanatomie zeigt die Kiefer (*Pinus sylvestris*). Jahresringe und Spätholz sind markant ausgebildet. Der Übergang von Früh- zu Spätholz ist scharf begrenzt. Die Harzkanäle sind von Parenchymzellen ausgekleidet. Die Tracheiden der ein- oder mehrreihigen Markstrahlen zeigen zackig verdickte Zellwände. Das ist für die Kiefer ebenso artspezifisch wie die Tatsache, dass Hoftüpfel nur in den Radialwänden der Tracheiden vorkommen, wie im Radialschnitt zu sehen ist (Abb. 4 und 5).

Auch im Holz der Lärche (*Larix decidua*) sind die Jahresringe markant ausgebildet sowie Früh- und Spätholz scharf abgegrenzt. Im Radialschnitt sind die Hoftüpfel zu sehen, die häufig paarweise in den Tracheiden angeordnet sind (Abb. 6).

Niemals paarig angeordnet sind die Hoftüpfel im Holz der Fichte (*Picea abies*). Ein Holzparenchym fehlt, die ein- oder mehrreihigen Markstrahlen enthalten oft Harzgänge (Abb. 7). Keine Harzgänge hingegen enthält das Holz der Tanne (*Abies spec.*). Holzparenchym ist spärlich an den Jahresringgrenzen angeordnet, die Markstrahlen sind einreihig. In ihren Wänden finden sich häufig Kristalle aus Calciumoxalat (Abb. 8). Für das Holz der Douglas-tanne (*Pseudotsuga taxifolia*) sind Schraubentracheiden typisch (ab 400facher Vergrößerung erkennbar). Das Holzparenchym umschließt nur die Harzgänge. Die Markstrahlen sind einreihig und enthalten oft Harzgänge (Abb. 9). Durch eine auffallend mächtige Borke ist der Stamm der Zirbelkiefer (Arve, *Pinus cembra*) gekennzeichnet (Abb. 10).

Literatur- und Präparationshinweise siehe Teil 2.

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

Die Mikroaufnahmen fertigte Josef Häckl, Bruckerstraße 16A, 82275 Emmering, an.

## Buchbesprechung

Buselmaier, W., Tariverdian, G.: **Humangenetik für Biologen**. Springer Verlag, Heidelberg 2006, 420 Seiten, 201 Abbildungen, gebunden, € 49,95, ISBN 978-3-540-24036-5.

Das vorliegende Werk versteht sich als ein speziell für Biologen verfasstes Lehrbuch der Humangenetik. Diesem Anspruch wird es gerecht, indem schwerpunktmäßig Themen wie *Methodeninventar der molekularen Humangenetik*, *Experimentelle Ansätze zur genetischen Manipulation*,

*Klassische Genetik und Zytogenetik*, *Gene und Krebs*, *DNA-Profile zur Individualidentifizierung*, *Die Evolution des Menschen*, *Populationsgenetik*, *Genetik und Umwelt* sowie insbesondere die *Klinische Genetik* so abgehandelt werden, dass auch ein Nichtkliniker die Inhalte verstehen und begreifen kann. Einen zentralen Raum nimmt verständlicherweise *Das Human Genom Projekt und der Aufbau des menschlichen Genoms* ein. Hier werden die aktuellsten Erkenntnisse dieser engagierten Forschung vermittelt.

Der Text ist generell gut lesbar, erfordert hier und da allerdings auf

Grund von (zu) zahlreichen Fachtermini aus der Medizin etwas mehr Konzentration, bisweilen sogar die Zuhilfenahme eines entsprechenden Fachwörterlexikons, spätestens dann, wenn das am Ende des Buchs zu findende, ausführliche Glossar erschöpft ist. Die zahlreichen Abbildungen und Tabellen illustrieren und erläutern die zu vermittelnden Sachverhalte nachhaltig.

Insgesamt liegt ein Werk vor, über dessen Erscheinen sich die als Zielgruppe intendierte Biologenschar freuen sollte.

Wilhelm Wagner, Essen

# Mikroskopie in der Schule zwischen 1871 und 1914

## Teil 2: Mikroskope, mikroskopische Präparate und Lehrerfortbildung

Jürgen Hartwig Ibs

Im ersten Teil dieses historischen Abrisses zur Mikroskopie in Schulen standen die Bedeutung von Naturwissenschaften, insbesondere der Biologie, in der damaligen Gesellschaft und Schullandschaft im Vordergrund. Die Entwicklung der Schulmikroskopie und Schulmikroskoptypen diverser Hersteller wurden vorgestellt. Dies setzt sich im zweiten Teil fort. Ferner wird der Einfluss von Förderern der Mikroskopie auf die Einbindung in den Unterricht an verschiedenen Schultypen deutlich.

Die Verteilung der Mikroskopie auf die Schultypen zeigt, dass die Realschulen und Mädchenschulen, deren Lehrpläne ja auch mehr Naturwissenschaften vorsahen, sich stärker der Mikroskopie zuwandten als die humanistischen Gymnasien. Bei letzteren spielte das Mikroskop eher eine untergeordnete Rolle.

### Der Kieler Professor Karl August Möbius als Förderer der Schulmikroskopie

In Großstädten wie Kiel, die über mehrere höhere Schulen verfügten, konnten sich die Realschulen durch ein naturwissenschaftliches Profil auch besser im Konkurrenzkampf der Schulen untereinander behaupten. In dieser Hinsicht war die Nähe der Christian-Albrechts-Universität für die Kieler Realschulen von großem Nutzen. In besonderem Maße engagierte sich der erste ordentliche Professor für Zoologie in Kiel, Karl August Möbius, für die Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in der Allgemeinheit und an den Schulen. So war er bereits in Hamburg Vorsitzender des Naturwissenschaftlichen Vereins, Mitbegründer des Zoologischen Gartens und des Naturhistorischen Museums sowie Gründer des Seewasseraquariums, des ersten in Deutschland überhaupt. Er hatte nach Scheele (1981) als Lehrer die Mikroskopie am Hamburger Johanneum eingeführt und förderte sie auch an Kieler Schulen. Als Wissenschaftler prägte Möbius den Begriff der Lebensgemeinschaften (Biocönose) und trat für deren Behandlung im

Unterricht ein. So hielt er in Kiel auch Vorträge über das Thema vor Gemeindelehrern und regte hierüber Friedrich Junges Buch *Der Dorfteich als Lebensgemeinschaft* an, das jedoch mehr an

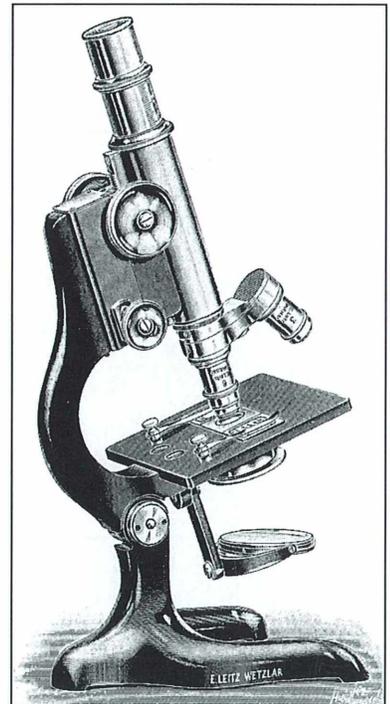


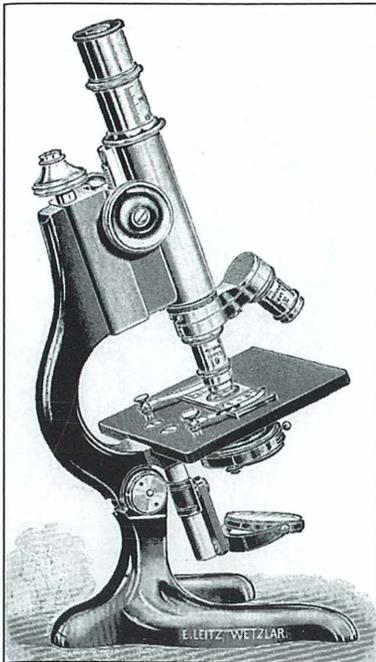
Abb. 1: Stativ G, Ernst Leitz, Wetzlar, ab 1909. Das Modell genügte laut R. Beck für den Schulunterricht (aus Beck, 2002).

Volksschulen als an Gymnasien Verwendung fand. Möbius sorgte unermüdlich für die Popularisierung der Naturwissenschaften. In Kiel baute er das zoologische Museum zu einem der ersten modernen naturwissenschaftlichen Museen in Deutschland um, das naturwissenschaftliche Forschungsgeschichte mit einem pädagogischen Konzept darstellte und damit internationales Ansehen erwarb. Zudem hielt er Vorträge im Volksbildungsverein und vor der Marineakademie, veröffentlichte Artikel in Tageszeitungen und war Vorstand im Naturwissenschaftlichen Verein Schleswig-Holstein. Später wurde er Universitätsprofessor und Direktor des zoologischen Museums in Berlin.

### **Schultypen und Mikroskopie: Einfluss des Itzehoer Lehrers Dr. Wilhelm Voß**

Der Aufschwung der Schulmikroskopie im Laufe der Jahre ist sowohl auf den Kampf um die Gleichstellung der Realschulen mit den humanistischen Gymnasien als auch auf den Zwang zur Profilierung vor den Eltern zurückzuführen. Letzteres gilt gerade in Großstädten

wie Altona oder Kiel. Die Mikroskopie profitiert aber sicher auch von der Aufwertung der Biologie als Wissenschaft. Das Beispiel des Itzehoer Lehrers Dr. Wilhelm Voß zeigt darüber hinaus, wie die Realschulbildung die Naturwissenschaften fördern konnte. 1878 in Uetersen geboren, machte Voß 1898 an der Oberrealschule in Kiel sein Abitur. Er studierte Naturwissenschaften in Kiel, Heidelberg, München und wieder in Kiel, wo er 1893 über ein biologisches Thema promovierte. Von 1901–1904 war er Assistent am botanischen Institut der Universität Marburg und danach bis 1906 wissenschaftlicher Assistent an der Kgl. Rebenveredlungsanstalt in Geisenheim. Nach Besuch des Seminars für Gymnasiallehrer und dem üblichen Probejahr an einer höheren Schule war er zuerst Oberlehrer in Marne (Holstein), ehe er 1908 an die Itzehoer Realschule kam. Hier sorgte er maßgeblich dafür, dass Biologie wieder in der Oberstufe unterrichtet wurde. Ähnliche Karrieren lassen sich an vielen Schulen nachweisen, etwa die von Wilhelm Karl Bär, der nach dem Besuch einer Realschule 1. Ordnung Mathematik und Naturwissenschaften studierte und 1902/03 an die Realschule in Kiel kam (Lebensläufe aus den Schulprogrammen).



**Abb. 2:** Das „Deutsche Schulmikroskop“ GH, ab 1910, Ernst Leitz, Wetzlar (aus Beck, 2002).

### **Der praktische Einsatz verschiedener Mikroskoptypen in der Schule**

Die Übersicht verdeutlicht, dass in den Schulen vor allem einzelne Mikroskope eingesetzt wurden. Einige Male wurden Projektionsapparate benutzt, um allen Schülern gemeinsam das mikroskopische Bild zu zeigen. Mehrere Mikroskope in den Sammlungen, die zumindest die Arbeit von kleinen Schülergruppen ermöglicht hätten, bildeten die Ausnahme.

Eine Vorstellung über die verwendeten Mikroskoptypen und -preise geben Hinweise von Autoren in Zeitschriftenartikeln zur Schulmikroskopie und Anzeigen beziehungsweise Kataloge einschlägiger Firmen. Einfache Mikroskope besserer Qualität aus Metall wurden etwa von Leitz seit den 70er Jahren des 19. Jahrhunderts bis zum Ersten Weltkrieg als Mikroskop für die Schule angeboten (Abb. 1). Das Modell GH von 1910 führte ausdrücklich die werbewirksame Bezeichnung „Deutsches Schulmikroskop“ (Abb. 2; Beck, 2002). Zeiss brachte laut Auskunft des Zeiss-Archivs ausgesprochene Schulmikroskope erst seit 1920 auf den

Markt. In Schulen konnte aber das Mikroskopstativ VIII eingesetzt werden, das 1873 als Stativ IIIb (1893: 128 Mark) auf den Markt gekommen war (Abb. 3). Laut Auskunft des Carl-Zeiss-Archivs kam auch das „Studentenmikroskop nach Babuchin“ in Frage, das 1891 eingeführt wurde. Es war aber im Aufbau recht kompliziert und auch relativ teuer. Das preußische Unterrichtsministerium empfahl 1884 den Schulen die Anschaffung von Mikroskopen der Firmen Hartnack in Potsdam sowie Schmidt und Haensch in Berlin, letzteres mit einer 20–500fachen Linearvergrößerung zum Preis von 135 Mark. Die Franckh'sche Verlagshandlung bot 1909 das „Deutsche Schulmikroskop“ an, das wohl eine vereinfachte Version des „KOSMOS-Mikroskops“ darstellte. Das KOSMOS-Mikroskop, das sonst zu einem Ladenpreis von 134 Mark angeboten wurde, konnten Kosmos- wie auch MIKRO-KOSMOS-Bezieher zu 115 Mark erwerben (Abb. 4). Im MIKROKOSMOS von 1910/11 wurde von Hanns Günther in einem Bericht über Fortschritte in der Mikroskopie auf ein Schulmikroskop von Leitz hingewiesen, dessen Spiegel gut zu verschieben sei. Nachteilig bewertete er, dass das Gerät nur um 45° und nicht um 90° umlegbar war, wie es zum Fotografieren zu der Zeit notwendig war. Auch das Zeiss-Stativ Nr. V und das Stativ III von Seibert in Wetzlar seien nach Günther für die Schule geeignet. Winkel in Göttingen bietet ein erschwingliches zerlegbares Hand- und Demonstrationsmikroskop an, das auch als Präpariermikroskop verwendet werden könne (Günther, 1910/11).

### Schulmikroskope und Präparate nach 1900

Auch bei diesen Empfehlungen wird deutlich, dass in den Schulen vor allem der Einsatz einzelner Mikroskope vor der Klasse in Frage kam, anderes ließen die engen Etats nicht zu. Trotzdem war die Nachfrage nach Mikroskopen nach 1900 seitens der Schulen aber so gewachsen, dass manche Firmen spezielle Modelle für den Schulgebrauch anboten. Neuartig und auf den Schulbedarf abgestellt waren auch Experimentierkästen, die als Ersatz einer Gerätesammlung und für praktische Schülerübungen im wahlfreien Unterricht empfohlen wurden. Einen solchen Kasten, ausgestattet mit einem kleinen ausbaufähigen Mikroskop zu

35 Mark und einer Anleitung für 120 Beobachtungen, bot beispielsweise eine Leipziger Lehrmittelfirma an (Natur und Schule, 1902).

Die Schulberichte geben auch Hinweise, bei welchen Themen das Mikroskop eingesetzt wurde. Aufschluss geben vor allem die angeschafften Präparate. Es werden sowohl botanische, zoologische, mineralogische als auch Bakterienpräparate genannt. 1896 beschafft das Flensburger Gymnasium zehn mikroskopische Präparate, die einen Blick auf Unterrichtsgegenstände erlauben: Je ein Schnitt eines Röhrenknochens, des Rückenmarks, der Großhirnrinde, des Fettgewebes, der Niere, der Leber, der Lunge, der Haut, ferner *Saccharomyces niger* und *Micrococcus*. Da die Herkunft der Gewebeschnitte nicht weiter erläutert wurde, dürften sie vom Menschen stammen. Dem-

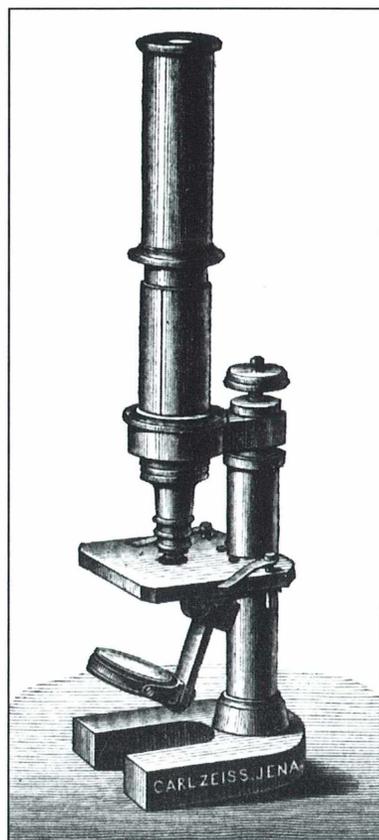
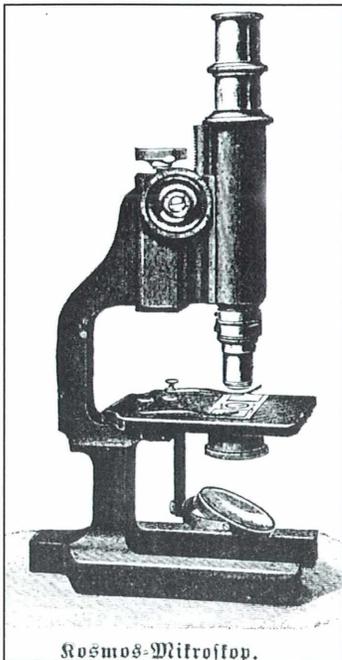


Abb. 3: Mikroskop IIIb, Carl Zeiss, Jena, 1873, später als Stativ VIII geführt. Es wurde laut Dr. Wolfgang Wimmer auch für den Schulgebrauch angeboten (aus Carl-Zeiss-Archiv, Jena).

entsprechend passen sie in den Unterricht der Obertertia des Gymnasiums, wo das Thema *Der Mensch und seine Organe, nebst Unterweisung aus der Gesundheitslehre* auf dem Lehrplan stand, oder in die Untersekunda des angeschlossenen Realgymnasiums, wo die *Anatomie und Physiologie des Menschen, im Anschluss daran Gesundheitslehre* unterrichtet wurde.

An einigen Schulen griff man nicht nur auf Fertigräparate zurück, sondern stellte auch eigene Frisch- und Dauerpräparate her. Das Gymnasium Rendsburg benötigte dafür 1899 einen Lackiering und Besteck, die Realschule Kiel 1902 Utensilien zur Paraffineinbettung, darunter ein Mikrotom und ein Präpariermikroskop, die Realschule Itzehoe 1904 40 Objektträger und Deckgläser sowie die Realschule Kiel im gleichen Jahr neben anderen Glaswaren Deckgläser, Etiketten und Mappen zur Archivierung der hergestellten Präparate. Hier deutet



Kosmos-Mikroskop.

**Abb. 4:** Der MIKROKOSMOS bot 1909/10 für seine Abonnenten das Kosmos-Mikroskop Modell B zum Vorzugspreis von 115 Mark (statt 134 Mark) an. Die Abonnenten konnten auch das Modell C für 122,50 Mark (statt 142 Mark) erstehen. Zudem wurde ein „Deutsches Schulmikroskop“ angeboten.

sich an, dass der Biologieunterricht als geeignet angesehen wurde, die Schüler zu eigener Tätigkeit anzuregen. Zumindest theoretisches Interesse an der Planktonforschung hatte das Flensburger Gymnasium, das 1905 *Die biologische Anstalt Plön* von Otto Zacharias und kleinere Schriften erhalten hatte. Planktonuntersuchungen an der Schule forderte auch der Lehrer Prof. Dr. Stoltz, Direktor einer Dortmunder Oberrealschule, der mit einer ganzen Artikelserie im MIKROKOSMOS die Schulmikroskopie förderte. Ihm standen in seiner Schule mehrere Mikroskope zur Verfügung, um die er seine Schüler gruppierte (Stoltz, 1909/10).

Sehr selten werden dagegen in den programmatischen Schriften zu Lehrplänen Hinweise zum Mikroskopieren gegeben. So führt Dr. Langeemann von der städtischen höheren Mädchenschule Kiel im Entwurf eines Lehrplans für die Naturkunde an dem Schultyp 1891 an, dass in Klasse III (entspricht der heutigen achten Klasse) die mikroskopische Demonstration des Pollenkorns und der Schnitt durch einen jungen Fruchtknoten zum Pensum gehören solle. 1895 wurde dann in der Klassenstufe die *Zelle nach Form, Wachstum, Größe, Inhalt und Thätigkeit* in den Lehrplan aufgenommen, ohne dass jedoch das Mikroskop ausdrücklich erwähnt wird.

### **Das Mikroskop in Chemie und Physik**

Auch im Fach Chemie fand das Mikroskop Verwendung. Das Husumer Gymnasium erwarb 1890/91 für das physikalische Kabinett und die Naturaliensammlung ein *Schul- und Familienmikroskop* mit 15 Dünnschliffen von Gesteinen, ein Hinweis auf den Einsatz des Mikroskops in der Mineralogie. Mineralogie war nach den preußischen Lehrplänen von 1891 aus dem Naturbeschreibungsunterricht herausgenommen und der Chemie zugeordnet worden.

Das Mikroskop wurde auch als Unterrichtsgegenstand in Physik (Optik) behandelt. Das Gymnasium Plön benutzte ab 1876 ein so genanntes offenes Fernrohr, das ausdrücklich auch zur Erklärung des mikroskopischen Strahlengangs dienen sollte. Wohl in ähnlicher Weise wurde am Rendsburger Gymnasium das Modell eines Mikroskops und in Itzehoe die schon erwähnten hölzernen Mikroskope eingesetzt. Das Ratzeburger Gymnasium vermittelte

ab 1908 diese Kenntnisse mit einer Anschauungstafel, welche die Leitz-Werke durch Vermittlung eines Lehrers gestiftet hatten. Die physikalisch-chemische Sammlung des Flensburger Gymnasiums bekam 1903/04 ein *großes Mikroskop mit Revolver, 2 Objektiven, 1 Oel-Immersion und 2 Okularen*, während die naturwissenschaftliche Sammlung Präparate für den botanischen Unterricht erhielt, ein Hinweis auf die Verwendung des Mikroskops sowohl in Physik, Chemie und Biologie.

### **Das Mikroskop bei der Reifeprüfung**

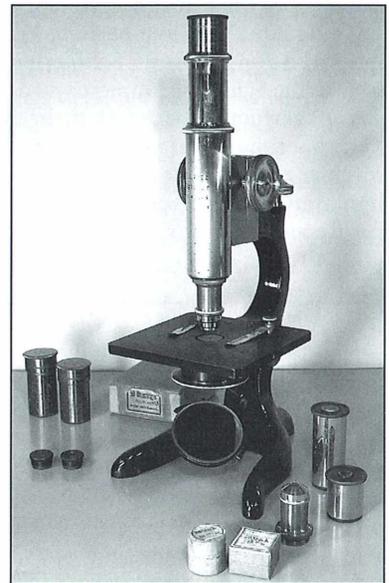
In der Reifeprüfung des Realgymnasiums Flensburg wurde Ostern 1908 im Fach Physik, das jetzt anstelle von Mathematik geprüft werden durfte, das Mikroskop mit folgender Aufgabe zum Thema gemacht: *Das zusammengesetzte Mikroskop im Vergleich mit dem astronomischen Fernrohr. Dazu als Aufgabe: Zwei verschiedene Augen, ein normales mit der Sehweite  $d = 25\text{ cm}$  und ein kurzsichtiges, dessen Sehweite  $d_1 = 15\text{ cm}$  beträgt, benutzen ein zusammengesetztes Mikroskop, dessen Objektiv und Okular die Brennweite  $f = 4\text{ mm}$  und  $f_1 = 25\text{ mm}$  haben. Wie stark ist in beiden Fällen die Vergrößerung, wenn das betrachtete Objekt  $4,2\text{ mm}$  vom Objektiv entfernt ist?* Im Realgymnasium Altona lautete die Aufgabe 1910 in Physik kürzer: *Das Mikroskop*. Wir dürfen sicher annehmen, dass die Lehrer vom Prüfling eine Beschreibung der optischen Eigenschaften erwarteten.

### **Erfahrungsaustausch über Schulmikroskopie in Zeitschriften**

Hinweise auf Formen und Möglichkeiten des praktischen Unterrichts mit dem Mikroskop geben auch eine Vielzahl von Artikel, in denen Lehrer und Wissenschaftler in Zeitschriften über ihre Unterrichtsentwürfe berichteten. Im Folgenden werden nur einige Beispiele aus *Natur und Schule*, 1902 erstmals erschienen, sowie aus dem MIKROKOSMOS (seit 1907) genannt. Allein die Ersterscheinungsdaten der Zeitschriften zeigen das anwachsende Interesse für Biologie und Mikroskopie nach der Aufwertung der Realschulen um 1900 und der Wiedereinführung der Biologie beziehungsweise der Emanzipation der Höheren Töchter-

schulen 1907/08 an. Der große Erfolg des MIKROKOSMOS und der Mikrobiologischen Gesellschaft findet sicher auch hier eine Ursache.

Die Zeitschrift *Natur und Schule* begründete ihr Erscheinen nicht nur damit, dass die Naturwissenschaften durch die Lehrplangestaltungen vernachlässigt seien und mit dem wissenschaftlichen Fortschritt nicht standgehalten hätten, sondern auch damit, dass die Fortbildung der Fachlehrer nicht Schritt gehalten habe (*Natur und Schule*, 1907). Der Weiterbildungsbedarf vieler Lehrer sowohl zum Stand der Wissenschaften als auch bei schulischen Anwendungsmöglichkeiten war durch das weitgehende Fehlen des Biologieunterrichts in der Oberstufe sicher groß. *Natur und Schule* richtete 1902 eine Rubrik *Lehrmittelschau* ein, gab regelmäßig Berichte von Versammlungen und Fortbildungskursen für Fachlehrer und beantwortete Fragen zur Mikroskopie aus der Leserschaft. Der MIKROKOSMOS verfuhr ähnlich und führte im Heft 7 des ersten Jahrgangs die Rubrik *Mikrobiologische Winke für die Schule* ein, um den Erfahrungsaustausch zwischen Lehrern zu fördern.



**Abb. 5:** Mikroskop eines preußischen Volksschullehrers mit Zubehör, das er 1912 anschaffte. Vereinfachte Version des „Deutschen Schulmikroskops“ GH von Ernst Leitz, Wetzlar (Foto: J. H. Ibs, Lübeck).

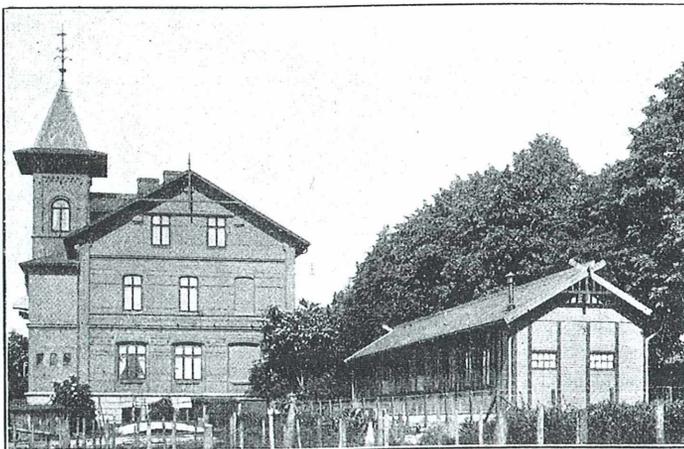
### **Lehrer und MIKROKOSMOS-Autor Stoltz: Botanikunterricht**

Der Dortmunder Lehrer Stoltz, der eine ganze Reihe von Artikeln zum Thema Schulmikroskopie im MIKROKOSMOS veröffentlichte, hielt den Erfahrungsaustausch der Lehrer über die Mikroskopie in einem Artikel von 1909/10 für notwendig, weil die Fachliteratur nur unzureichend über schulische Methoden unterrichtete und zu wenig geeignete Beispiele für den Unterricht biete. Zwar gäben die wissenschaftlichen Fachbücher einen guten Anhalt, sie seien für den Schulgebrauch aber nicht ausreichend. Sie böten oft Beispiele exotischer Pflanzen, die ebenso schwer zu bekommen seien, wie sie den Schülern fern lägen. Und ihm gehe es gerade darum, Pflanzen aus dem Lebensbereich der Schüler vorzuführen, mit denen er auch an den Lehrplan anknüpfen könnte (Stoltz, 1909/10). Dies dürfte auch viele seiner Fachkollegen interessiert haben.

Stoltz, der um 1890 mit der Mikroskopie in seiner Dortmunder Schule begann, plädierte folgerichtig für die Verwendung selbst gefertigter statt gekaufter Präparate, um so den Unterricht besser an die Schulbedürfnisse anzupassen. Er konnte vier bis sechs Mikroskope in der Untersekunda eines Realgymnasiums mit einer Klassenstärke von 20 bis 25 Schülern einsetzen, um welche die Schüler gruppiert wurden. Nur eines davon verfügte über eine mehr als 150fache Vergrößerung. Auf seinen Botanikunterricht soll hier etwas näher eingegangen werden.

Ihm standen dafür circa 40 Stunden inklusive der Repetitionen zur Verfügung, nicht gerechnet

die Exkursionen. Unter jedem Mikroskop lag ein ausgesucht deutliches Präparat und daneben das skizzierte Schema der thematisierten Pflanzenorgane, das an der Tafel wiederholt wurde. Die Schüler mussten verschiedene Präparate vergleichen. Stärke, Kristalle aus Pflanzenzellen, Farn- und Pilzsporen, Pollenkörner – bei *Tradescantia* ließ er die Pollenschläuche in Wasser austreiben –, Zellgewebe und -gefäße, Oberhautgebilde, Spaltöffnungen sowie Haare und Schuppen beobachteten die Schüler, wobei er auch Färbungen einsetzte. Die Schüler traten einzeln an das Mikroskop, um dann an ihrem Platz mit Hilfe der Schemata eine Zeichnung anzufertigen. Dann gingen sie an das nächste Mikroskop mit einem anderen Präparat usw. Wenn alle Stationen absolviert waren, wurden neue Präparate eingelegt. Es ging Stoltz offenbar darum, möglichst viele Präparate in einer Einheit vorzuführen. Er begleitete die Vorführungen mit einfachen Versuchen, etwa indem er ein Wegerichblatt (*Plantago maior*) mit der frischen Schnittfläche in Safraninwasser stellte und schon nach einer Viertelstunde zeigen konnte, dass erst die Hauptadern und dann die Nebenadern rot werden würden. Über den regulären Unterricht hinaus fertigten die Schüler, die meist sich schon mit meiner Hilfe einfache Mikroskope angeschafft hatten, in freiwilligen Nachmittagskursen auch selbst Dauerpräparate an. So lernten die Schüler mit dem Mikroskop umzugehen, sich selbst Fragen zu stellen und zu beantworten und das Instrument auch wohl im Hause praktisch nutzbar zu machen. Ähnlich gestaltete er den Unterricht in Zoologie, zudem plädierte er auch für die Betrachtung von Plank-



**Abb. 6:** Die Biologische Station Plön (links) mit ihrem Ferienkurs-Pavillon (rechts) um 1910 (aus MIKROKOSMOS, 1909/10).

ton, was einen relativ neuen Unterrichtsgegenstand darstellte (Stoltz, 1909/10). Das Beispiel gibt einen guten Einblick in einen modernen zeitgenössischen Unterricht, der den Schülern zwar die Möglichkeit zur Selbsttätigkeit einräumte, gleichwohl aber im Vergleich mit heutigen Methoden recht formalistisch gestaltet war und über den Einsatz der Schemen die Beobachtungsgabe der Schüler am Mikroskop nicht förderte.

Die Berichte von Lehrern in den genannten Zeitschriften erfüllten die wichtige Funktion, das universitäre Wissen und die wissenschaftlichen Erkenntnisse für die Schule aufzubereiten. Die auch in den Zeitschriften publizierten Berichten über neueste wissenschaftliche Erkenntnisse und technischen Neuerungen im Bereich der Mikroskopie sowie die Hinweise für und von Freizeitmikroskopikern halfen sicher auch den Biologielehrern, wie auch umgekehrt die anderen Leser von den erprobten und nachvollziehbaren Beispielen aus dem Schulbereich profitieren konnten. Lehrer nahmen auf diese Weise nicht nur über den Unterricht, sondern auch über die Zeitschriftenartikel eine wichtige Rolle bei Verbreitung und Popularisierung der wissenschaftlichen Mikroskopie und Biologie ein.

### **Mikroskopie in der Volksschule**

Stoltz verweist in einem Beitrag im MIKROKOSMOS darauf, dass sich *mancherlei Anwendbares [...] auch für die Volksschule daraus ergeben* werde (Stoltz, 1909/10). Auch hier wurde also mit dem Mikroskop gearbeitet, obwohl die Volksschule doch ganz andere Schwerpunkte als die höhere Schule hatte. Sie sollte mehr noch als die höhere Schule der Untertanenerziehung dienen, zudem sollte sie ein Bollwerk gegen die Sozialdemokratie sein, und sie hatte vor allem Lesen und Schreiben beizubringen. Die Vermittlung naturwissenschaftlicher Kenntnisse war nicht vorgesehen. Aber auch die Volksschulen mussten den wachsenden technischen, wirtschaftlichen und hygienischen Anforderungen der Gesellschaft gerecht werden, was auch hier im Laufe der Zeit zur Stärkung des Unterrichts in Realien führte (Nipperdey, 1990).

So gehen auch andere Autoren als Stoltz auf das Thema Mikroskopie in der Volksschule ein, wie E. Dennert in seiner Schrift *Der*

*Unterricht in der Biologie. Ein Ratgeber für Lehrer der Biologie an höheren und niederen Schulen*, die er 1912 veröffentlichte. Für ihn war das Mikroskop ein ganz unerlässliches Hilfsmittel für den Unterricht, insbesondere für die Anatomie der Pflanzen und die Anthropologie. Er setzte das Mikroskop aber eher als gelegentliches Anschauungsmittel ein, wobei er auch auf das Problem einging, das entstand, wenn nur ein Mikroskop vorhanden war. Um die Unruhe zu vermeiden, die aufkam, wenn die Schüler nacheinander an das Mikroskop gingen, riet er zu einem Demonstrationsmikroskop, das auch für Volksschulen erschwinglich sei. Im Übrigen verlangte er, dass jeder Lehrer, der Biologie unterrichtete – auch der Volksschullehrer – selbständig mikroskopieren und sich auch selbst Präparate herstellen sollte (Dennert, 1912). Er setzte also voraus, dass die Biologielehrer ein eigenes Mikroskop besaßen.

### **Mikroskop eines Volksschullehrers, des Großonkels des Verfassers**

Dass auch Volksschullehrer tatsächlich zu den Mikroskopikern gehörten, zeigt das folgende Beispiel. Das in Abbildung 5 abgebildete Mikroskop stammt aus dem Besitz des Großonkels des Verfassers, der als schleswig-holsteinischer Volksschullehrer tätig war. Er hatte es im Dezember 1912 mit 18 Jahren als Seminarist oder schon als Junglehrer wohl mit elterlicher Hilfe erworben (am 30. November bei Leitz ausgeliefert). Es handelt sich um das Schulmikroskop GH von Leitz (Abb. 2) in einfacher Ausstattung, wie es auch im Strasburger/Koernicke (1913), *Das Kleine botanische Praktikum für Anfänger*, neben anderen Geräten empfohlen wurde. Statt Beleuchtungsapparat mit Irisblende wie das voll ausgestattete Mikroskop besitzt es austauschbare Zylinderblenden und ist mit den Objektiven 3, 7 und den Okularen I, III, V ausgestattet. Ein Revolver wurde nicht erworben. Der Feintrieb ist anders als beim Modell GH nicht am Triebkasten, sondern am Oberteil des Stativs (Tubusträger) angebracht. Das Mikroskop erreichte bei 170 mm Tubuslänge und 250 mm Bildweite eine 750fache Vergrößerung. Das Modell GH kostete in dieser Ausstattung ohne den anders gestalteten Feintrieb mit nur zwei Okularen 110 Mark. Um 1912 verdiente ein fest angestellter

Volksschullehrer je nach Stellung zwischen 3120 und 4500 Mark im Jahr, ein Rektor konnte mit 5470 rechnen. Ein Junglehrer verfügte nur über 1850 Mark (Mohr und Konaske, 1990). Unseren Volksschullehrer kostete das Mikroskop also fast ein Monatsgehalt; aber auch für einen älteren Lehrer war dies eine größere Ausgabe. Wir können also schon ein großes Maß an Enthusiasmus und Interesse für die Mikroskopie voraussetzen, wenn ein Mikroskop angeschafft wurde. Unser Lehrer arbeitete übrigens neben anderen Hilfsmitteln mit dem genannten *Kleinen botanischen Praktikum für Anfänger* und dem *Lehrbuch der Botanik für Hochschulen* von Strasburger – eine Ausstattung, wie sie sicher auch heute noch in moderner Form anzutreffen ist. Beide Bücher erwarb er 1914. Er hat mir selbst noch von seinen intensiven mikroskopischen Arbeiten berichtet. Nach den Notizen im „Praktikum“ beschaffte er sich dafür eine Reihe von Reagenzien und Farbstoffen.

Die Einsatzmöglichkeiten des Mikroskops im Unterricht einer Volksschule waren wegen der kürzeren Schulzeit und der anderen Schwerpunkte natürlich geringer als an einer höheren Schule.

Im Artikel *Mikrologische Winke für die Schule V* im MIKROKOSMOS von 1908/09 berichtet K. Dohse vom Einsatz des Mikroskops vor allem in der Oberstufe der Volksschule. Den Hintergrund bildete die Ausweitung des Naturkundeunterrichts im Lehrplan. Dohse hebt wie viele andere auch den Wert des Instruments für die Anschauung hervor. Zu seinen Objekten zählen die Zelle, Spaltöffnungen, Hefepilze, Herzbewegungen demonstriert an *Daphnia*, die Zunge der Schnecke und der Menschenfloh, wobei er offenbar Wert auf einfache und klare Beispiele legte.

### Ferienkurse zur Lehrerfortbildung

Fortbildungskurse wurden sowohl von Universitäten als auch von unabhängigen Instituten abgehalten. Die naturwissenschaftlichen Lehrer folgten damit den altsprachlichen, die mit finanzieller Unterstützung der Obrigkeit ihre Kenntnisse in Kursen, die auch in Italien durchgeführt wurden, auffrischen und ergänzten. Stoltz hatte nach eigenen Angaben bereits 1902 vom Kgl. Provinzial-Schulkollegium gefordert, dass Arbeitsstellen an den biologischen Statio-



Abb. 7: Ferienkursteilnehmer mit Otto Zacharias (Mitte) im Pavillon der Biologischen Station Plön, um 1910. Mitte links ein großes Planktonnetz (Foto: Max-Planck-Institut für Limnologie, Plön).

nen in Neapel, Helgoland und Plön für Oberlehrer geschaffen werden sollten, *damit diese dort während einiger Wochen oder länger praktische Kurse durchmachen, ihr Wissen auffrischen und neue Erfahrungen sammeln könnten*. Die Mittel wurden aber vorläufig nur in Einzelfällen bewilligt (Stoltz, 1909/10). Frühe Kurse fanden in der ersten deutschen Biologischen Station in Neapel statt. Die 1872 von Anton Dohrn gegründete Station verfügte 1909 über 22 Arbeitsplätze für Kursteilnehmer aus verschiedenen deutschen Staaten (Scheele, 1981).

Hier sollen einige wenige Berichte über Mikroskopiekurse aus *Natur und Schule* und dem MIKROKOSMOS und über Kurse in Plön vorgestellt werden. In Berlin wurde nach *Natur und Schule* 1901 ein Kurs für höhere Schullehrer an der Universität durchgeführt. Geübt wurden die Benutzung der modernsten Mikroskope und das Herstellen und Projizieren von Präparaten. In Bayern fand ein Kurs zweier Professoren statt, bei dem sie die geringe Fertigkeit der Lehrer im Umgang mit den Mikroskopen kritisierten. Andere Kurse widmeten sich der Pflanzenanatomie, der Bedeutung der Bakterien oder pflanzlicher Mikroorganismen (*Natur und Schule*, 1902, 1903).

Mikrobiologische Kurse wurden 1908 bei Harburg veranstaltet. Prof. Dr. Sigmund führte 1909 in Teschen (Österreichisch-Schlesien) einen mikroskopisch-biologischen Ferienkurs durch, an dem auch reichsdeutsche Lehrer teilnahmen. Im Mittelpunkt stand das Zeichnen von selbst gefertigten Dauerpräparaten, um den Entwicklungsgang der Pflanzen nachzuvollziehen. Der Kurs wurde auch zur Vorbereitung auf naturwissenschaftliche Fachprüfungen genutzt. Auch der MIKROKOSMOS selbst bot Kurse im eigenen Laboratorium an, wobei auf die Kenntnisse für Lehrer besondere Rücksicht genommen wurde. In Geislingen fanden Kurse für je 14 Lehrer statt. Sechs Mikroskope standen zur Verfügung. Wie hier durch den MIKROKOSMOS wurden auch bei anderen Kursen Geräte von Mikroskopfirmen und -händlern zur Verfügung gestellt, die damit für sich warben. In Geislingen ging es um eine Einführung in die Schulmikroskopie.

### **Otto Zacharias und die Plöner biologische Station**

In Plön bot Otto Zacharias hydrobiologische Ferienkurse in seiner biologischen Station an (Abb. 6). Er hatte sie 1892 nach dem Vorbild der Zoologischen Station in Neapel zur Erforschung der Lebenswelt der Binnengewässer als zwar private, aber öffentlich geförderte Einrichtung gegründet. Im gleichen Jahr entstand auch die Biologische Station Helgoland. Das Institut von Zacharias wurde 1917 unter August Thienemann als Hydrobiologische Anstalt der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft und später als Max-Planck-Institut für Limnologie fortgeführt (Zirnstein, 1994). Heute hat es die Bezeichnung Max-Planck-Institut für Evolutionsbiologie. Zacharias war ein Vorkämpfer für die Planktologie und deren Einführung in die Schule. Bereits 1906 hatte er in einem Aufsatz die Behandlung des Planktons als Teil des Biologieunterrichts gefordert. In weiteren Schriften versuchte er seine Idee zu verbreiten. Während der Diskussionen um die Einführung der Biologie in der Oberstufe der höheren Schulen im Jahr 1907 verfasste er eine Petition in dieser Sache an den preußischen Landtag. 1909 errichtet er unmittelbar am Plöner See einen Pavillon, um darin Ferienkurse für Lehrer abzuhalten (Abb. 6 und 7). Seine jeweils dreiwöchigen Kurse waren offenbar gut besucht. An ihnen nahmen sowohl in der Mikroskopie als auch in der Planktonkunde erfahrene als auch völlig unerfahrene Lehrer teil, darunter auch Volksschullehrer (Zacharias, 1910, 1911). Neben Lehrern unterrichtete Zacharias auch Laien sowie Schüler des Plöner Gymnasiums.

Die humanistische Schule verfügte nach Ausweis ihrer Jahresberichte zwar über kein Mikroskop, ab 1907 hielt Zacharias jedoch vor den Primanern zweistündige Vorträge, die sich im Wesentlichen auf die niedere Flora und Fauna des Plöner Sees bezogen. Er zeigte das Plankton auch lebend unter dem Mikroskop, wobei er *ganz besonderen Wert [...] auf die Vorführung frisch gefischter Vertreter* legte. In gleicher Weise unterrichtete Zacharias auch die Söhne des Kaisers im Primaneralter, die in Plön erzogen wurden (Zacharias, 1907). Unermüdlich wies Zacharias auf den Wert der mikroskopischen Planktonuntersuchungen im anschaulichen Unterricht hin, der ihm besonders am Herzen lag.

Trotz der führenden Stellung der deutschen Mikroskopie schon in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde das Mikroskop im Schulunterricht erst nach 1900 stärker eingesetzt. Dafür hatte nicht zuletzt der Druck einer naturwissenschaftlich interessierten Öffentlichkeit gesorgt. Aber die Ausstattung mit Geräten war aus heutiger Sicht noch recht dürftig, zudem war das Mikroskopieren immer noch kein fester Bestandteil an allen Schulen.

### Dank

Ich danke Herrn Rolf Beck, Leiter des Archivs und der Sammlung historischer Mikroskope, Leica Mi-

crossysteme, Wetzlar, für die ausführlichen Auskünfte und Hilfen, Ernst Otto Friese, Leiter des Schularchivs der Kaiser-Karl-Schule in Itzehoe, Dr. Karsten Dölger, Plön, ferner Dr. Wolfgang Wimmer, Carl-Zeiss-Archiv, Jena, und der Bibliothek des Max-Planck-Instituts für Limnologie, Plön.

### Literaturhinweise

Siehe Teil 1, Mikrokosmos 96, Heft 5, 291–300.

*Verfasser:* Dr. Jürgen Hartwig Ibs, Meisensteg 3, 23562 Lübeck, E-Mail: [juergen.ibs@t-online.de](mailto:juergen.ibs@t-online.de)

## Buchbesprechung

**Diano, P.: Atlas der Körperwelt.**  
Frederking & Thaler Verlag,  
München 2006, Großformat,  
184 Seiten, 6 Altarfalze,  
22 Octavius-Ausklapptafeln,  
460 Farbfotos, gebunden,  
€ 50,00,  
ISBN 3-89405-671-1.

Die oben angegebenen technischen Daten zum Buch – Großformat, Altarfalze, Octavius-Ausklapptafeln – lassen aufhorchen. Hier scheint etwas Außergewöhnliches vorzuliegen. Das tut es in der Tat, denn man benötigt eine mindestens 100 × 56 cm große Tischfläche, um dieses Buch im wahrsten Sinne des Wortes entfalten zu können. So bedeutet Großformat: 26 × 29 cm (geschlossenes Buch); Octavius-Ausklapptafel: 52 × 56 cm (aufgeschlagenes Buch und nach oben ausgeklappt); Altarfalz (abgeleitet vom Triptychon: dreiteiliger Flügelaltar mit feststehendem Mittelstück und beweglichen Flügeln): 29 × 100 cm (aufgeschlagenes Buch und nach rechts und links aufgeklappt). Das ist schon gewaltig!

Nun wird man die Qualität eines Buchs nicht auf Grund seiner mit einem Maßband feststellbaren Dimensionen beurteilen. Wie sieht es also mit dem Inhalt aus, den es vermitteln will? In über 50 Kapiteln wird eine überwältigende Fülle von verschiedensten Bestandteilen und Facetten des menschlichen Körpers wiedergegeben, wobei eine Vielzahl der gegenwärtig zur Verfügung stehenden bildgebenden Verfahren eingesetzt wurden: Positronen-Emissions-Tomografie, Thermografie, Magnet-Resonanz-Angiografie, Computertomografie, Kernresonanzspektroskopie, Radiografie, Szintigrafie, Endoskopie, Sonografie und nicht zuletzt die Licht- sowie Elektronenmikroskopie.

Die zentrale Komponente des Buchs ist zweifelfrei das Bildmaterial. Der erklärende Text zu den Abbildungen fällt relativ knapp aus, wobei jedoch die zum Verständnis der jeweiligen Fotos wesentlichen Informationen vermittelt werden. Die diversen Strukturen des menschlichen Körpers werden in farbigen, nein bunten Bildern dargestellt. Und da ergibt sich auch schon eine erste deutliche Zurückhaltung. Es ist

sicherlich vom Geschmack des jeweiligen Lesers abhängig, ob er die zahlreichen Falschfarbender als eindringlich oder aufdringlich empfindet. Für meine Begriffe ist bei den vorliegenden Abbildungen zu großzügig mit plakativen, bisweilen gar schrillen Farben umgegangen worden. Das hätte erheblich zurückhaltender geschehen müssen, wobei die Bilder nichts an Aussagekraft verloren, sondern hier und da sicherlich gewonnen hätten. Es gibt in aktuellen Bildveröffentlichungen anderer Autoren genügend Beispiele, die belegen, dass und wie man es besser machen kann.

Nicht nur bei der Farbgebung ist über das erträgliche Maß hinausgegangen worden, sondern auch bei der Festlegung der Dimensionen der ausgewählten Abbildungen. In zahlreichen Fällen sind die Fotos schlichtweg übervergrößert und vermitteln statt einer erwarteten Mehrinformation nur das Gefühl der Leere, nämlich der leeren Vergrößerung.

Fazit: Das Werk ist zugegebenermaßen groß, aber eben nicht großartig. Weniger bunt wäre farbiger und kleiner wäre größer gewesen.

Klaus Hausmann, Berlin

# ***Anschnitt im Auflicht – Lupenfotos mit dem Zeiss-Tessovar***

Erich Lühje

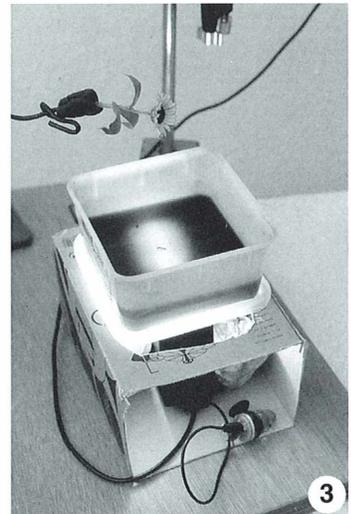
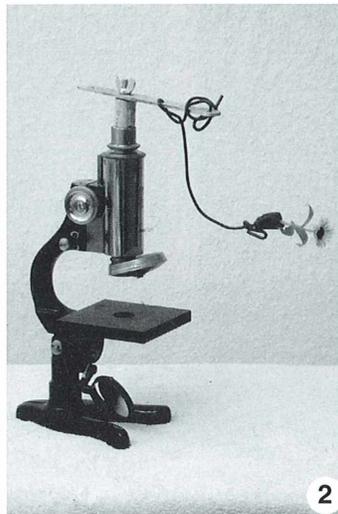
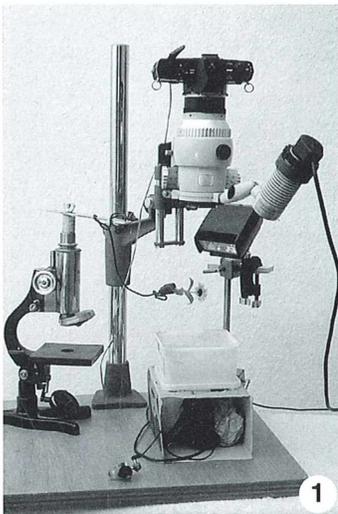
Das Tessovar von Carl Zeiss – vor etwa vierzig Jahren als pankratische Fotolupe auf den Markt gebracht, heute jedoch von der Modellentwicklung überholt und von den Anwendern außer Dienst gestellt. Ein freundlicher Zufall ließ vor einiger Zeit gleich zwei dieser schönen Geräte in meine Hände gelangen, wenn auch nur jeweils als Korpus ohne Stativ und Wechseloptik. Verzwickt wie ein Kreuzwörtertsel: Wie verwendet man gleich zwei Tessovare sinnvoll? Die Lösung: Waagrecht als hochwertiges Makro-Zoom-Objektiv und senkrecht als Gummilinse für Auflichtaufnahmen.

Über den Einsatz des waagerechten Tessovars als Makro-Zoom-Objektiv vor meiner OM2n habe ich bereits berichtet. In den Sommermonaten 2005 und 2006 bewährte es sich bei der fotografischen Insektenjagd (Schwebfliegen, Wildbienen, Grabwespen) (Lühje 2006, 2007).

## ***Fokussierung per Hilfsmikroskop***

Das andere Gerät ist jederzeit einsatzbereit an einem Pentax-Kamera-Senkrechtstativ aufge-

baut (Abb. 1). Die Auf-/Abwärtseinstellung erfolgt zunächst mit beiden Händen durch stufenlose Verschiebung an der Säule. Eine feinere Abstimmung ist, ebenfalls beidhändig, über einen Makroschlitten möglich. Das ist in der Tat so umständlich, wie es sich anhört. Aber wo es um die letzten Zehntelmillimeter geht, konnte ich den Vorgang geradezu ideal optimieren. Ein schönes Messing-Mikroskopstativ vom Hersteller A. D. Zwickert, Kiel, Nr. 1675, dient dabei als Hilfsmikroskop (Abb. 2). Statt des Okulars steckt ein Flaschenkorken im Tubus. Auf diesen schraubte ich eine verstellbare Blitz-



**Abb. 1:** Tessovar-Korpus an einem Fotostativ, eingerichtet für Auflichtaufnahmen von  $0,5\times$  bis  $10\times$ . – **Abb. 2:** Hilfsmikroskop in neuer Verwendung als Objekt-Träger. – **Abb. 3:** Eine Plastikwanne mit Methylenblau- oder Safraninlösung färbt das Blitzlicht als Hintergrundbeleuchtung ein.

schiene mit Drahtarm. In einem Knetgummiklumpen wird das Aufnahmeobjekt an dessen Endstück unter das Tessovar geschwenkt. Nun erfolgt die präzise Schärfeneinstellung spielend leicht über den Trieb des Mikroskops – besser geht es nicht! Eine Originallampe am Tessovar (Abb. 1, rechts) liefert dabei ein helles Sucherbild.

### Vergrößerungsbereich und Beleuchtung

Ohne seine Zusatzoptik erfasst das Tessovar (mit einem Adapter für meine Kamera) Maßstäbe zwischen 1:1 und 5:1. Damit liegt es erfreulich unter der Anfangsvergrößerung (ca. 3:1) meines alten Voigtländer-Mikroskops mit Zeiss-Winkel-, Hensoldt- und Leitz-Optik und hat es demzufolge als Aufnahmeggerät für Auflichtfotos abgelöst. Das gute Stück ist jetzt in meiner Schule im Einsatz. Mit zwei provisorisch adaptierten –4,5-Dioptrien- beziehungsweise +5-Dioptrien-Zusatzlinsen bietet die Zoomlupe mir jetzt Maßstäbe von 0,5:1 bis 10:1 und entspricht damit etwa ihrer ursprünglichen Auslegung. Bei Verwendung der –4,5-Dioptrien-Linse muss die Fokussierung über einen Winkelsucher mit Zweifachlupe vorgenommen werden.

Entscheidend für die Bildwirkung ist die Beleuchtung. „Black is beautiful“: Ein samt-schwarzer Hintergrund hebt das Motiv klar umrissen und farbstark hervor. Dazu bedarf es lediglich eines schwarzen Tuchs als Unterlage circa 20 Zentimeter unter dem Objekt. Aber auch farbige Kulissen sind möglich und als Variante reizvoll. Dafür gieße ich eine Methylenblau- oder Safraninlösung in ein Plastikgefäß (Abb. 3). Es steht auf einem Karton, in welchem der Zusatzblitz mit der Leuchtfläche

nach oben ausgerichtet liegt. Die Synchronisation mit der Kamera gewährleistet eine Servozelle (Abb. 1 und 3). Gedämpft durch den untergelegten Deckel dieses Gefäßes sowie einige weiße Plastikfolien strömt ein sattes, strahlendes Blau oder Rot aus der Tiefe und umschmeichelt das Objekt. Die gewünschte Abtönung der Hintergrundfarbe erziele ich durch den entsprechenden Abstand zwischen Objekt und Flüssigkeitspegel. Er liegt bei meiner Installation zwischen 10 und 15 Zentimetern. Dieses Verfahren ist natürlich nur sinnvoll bei ausreichenden Freiflächen um das Motiv herum.

Eingangs machte ich vor schwarzem Hintergrund viele Fotos mit drei Blitzgeräten und erzielte zwar schattenfreie, aber etwas eintönige Ergebnisse. Ein Blitz von hinten, das heißt von schräg-unten, bringt dagegen markant leuchtende Konturen ins Bild. Setze ich ein Blaulfilter vor diesen Blitz, wirkt sein Zusatzlicht kühlgelblich. Mit Orangefilter suggeriert das Zusatzlicht hingegen warmen Sonnenschein. So lässt sich trefflich auf der Psyche der Vortragsgäste klimpern.

Einer der drei Blitze steht auf einem Stativ (Abb. 1), einen TTL-Zweitblitz und den Hintergrundblitz halte ich in den Händen. Die Auslösung erfolgt pneumatisch per Fuß.

### Vom Objekt zum Motiv

Wie mit dem Voigtländer-Stativ und seiner alten Optik begonnen, setze ich mit der Tessovar-Ausrüstung die Fotografie botanischer Objekte fort. An Möglichkeiten mangelt es nie. Selbst im Winter hält der Garten mit Purpurtaubnessel, Ehrenpreis, Calendula, Winterheckenkirsche, Winterlingen, Leberblümchen, Christ-

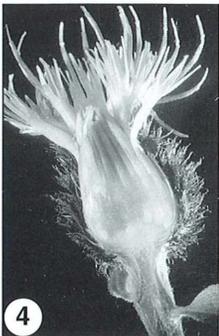
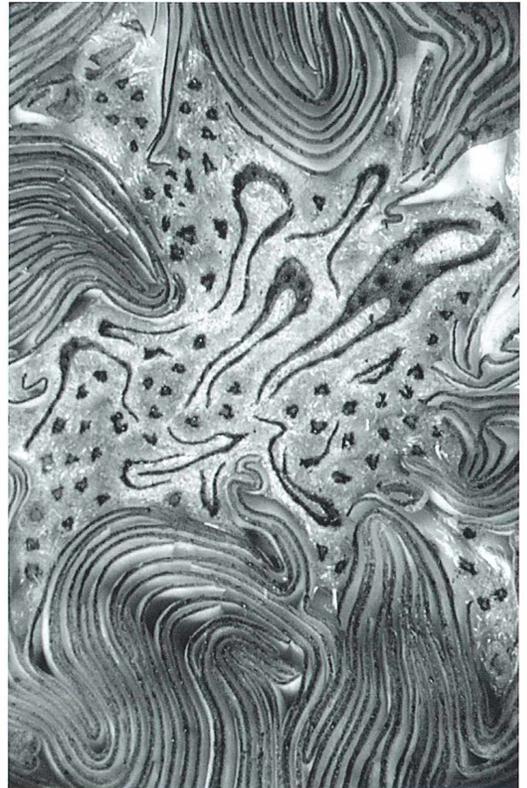
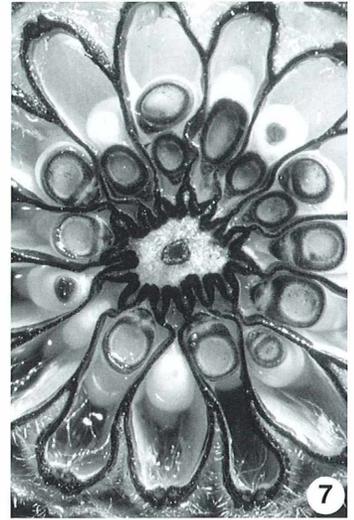
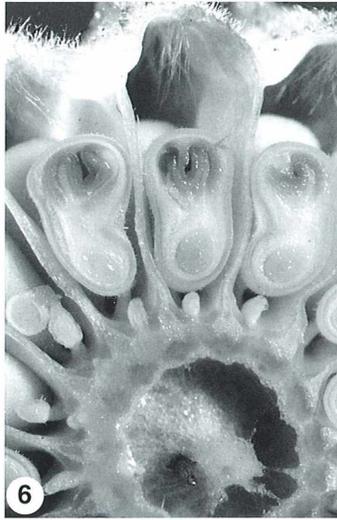


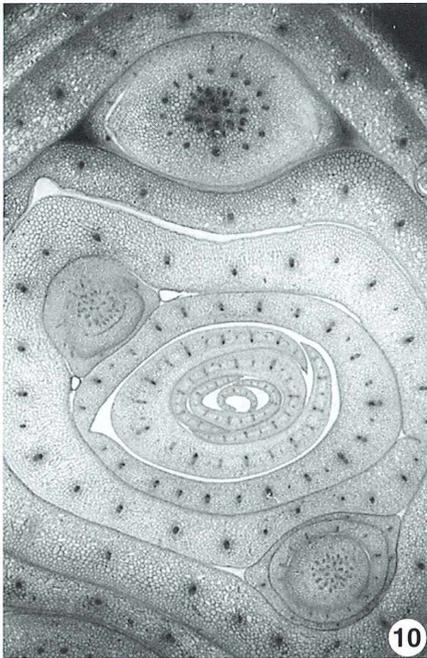
Abb. 4: Blütenstand der Flockenblume (*Centaurea spec.*) vor dunklem Hintergrund mit Blitzaufhellung von schräg-unten. Aufnahmemaßstab 1,1:1. – Abb. 5: Blüte eines Malven-gewächses aus der Toskana. Aufnahmemaßstab 1,1:1.

**Abb. 6:** Aufsicht auf den Querschnitt durch eine Frucht der Blüte von Abbildung 5. Die zwei Keimblätter der Embryonen sind gut zu erkennen. Aufnahme-  
maßstab 2,5:1. – **Abb. 7:**  
Fruchtknoten derselben Pflanze;  
Querschnitt mit Jodlösung ange-  
färbt. Aufnahme-  
maßstab 3,2:1.



**Abb. 8:** Querschnitt durch eine Rhododendron-  
Knospe, mit Astrablau angefärbt. Schnittfläche  
unter Deckglas und Wasser. Aufnahme-  
maßstab 3,5:1.

**Abb. 9:** Querschnitt durch eine Rosenknospe; An-  
schnitt mit Astrablau gefärbt. Aufnahme-  
maßstab 1,1:1.



**Abb. 10:** Querschnitt durch den Spross von *Rhoeo discolor*. Anfärbung mit Etzolds Farbgemisch. Aufnahmemaßstab 2,5:1. – **Abb. 11:** Mikroskop und Blume – Blickfang und Anknüpfungspunkt für ein Gespräch über Der Welten Kleines.

rosen und vielen mehr ein Blütensortiment bereiten. Eine weitere, bemerkenswerte Facette stellen Anschnitte dar. Sie vermitteln im Unterricht und in Vorträgen willkommene Übergänge zwischen Sachebene und ästhetischem Genuss. Der Längsschnitt durch einen *Centaurea*-Blütenstand mag dies verdeutlichen (Abb. 4). Ein Hintergrundblitz hebt die zarten Einzelblüten, die Spitzen der braunen Hüllblätter und die Stängelbehaarung dekorativ hervor. Die inneren Blüten legen sich wie schützende Hände um das Zentrum. Dies freilich bietet mit seinem blassen Weingelb noch nichts Wesentliches. Das lässt sich aber noch ändern, wie das folgende Beispiel zeigen soll.

Ein Malvengewächs aus der Toskana blüht als Urlaubserinnerung im Garten (Abb. 5). Seine Frucht zeigt, quer angeschnitten, die Samen mit ihren Embryonen, alles freilich in zartem Pastell gehalten (Abb. 6). Was für ein Motiv wird aber daraus, wenn ich die Schnittfläche mit Jodtinktur einfärbe (Abb. 7). Die längst verwelkte Blüte erstet gleichsam verwandelt in der neuen Gestalt ihrer Frucht: Ein „Fruchtknoten“ (hier die Blütenachse) scheint wieder von „Staubbeutel“ (jetzt Samen) und „Blütenblättern“ (den Wänden) umringt. Ovid hätte an solcher Metamorphose sicher seine helle Freude gehabt.

Oder der Rhododendron: Längst vor Entfaltung seiner Blütenpracht erschließt die Rasierklinge uns in seinen Knospen ein botanisches Wintermärchen. Blütenblätter, Staubgefäße und Fruchtknoten, quer angeschnitten, liegen geborgen im Rund der Hüllblätter. Nach Anfärbung mit Astrablau treten ihre Konturen wie in neuer ästhetischer Mission selbstbewusst hervor (Abb. 8). Zur Vermeidung von Lichtreflexen lege ich ein Deckglas mit anhängendem Wassertropfen auf die Anschnittfläche. Ein nicht minder bezauberndes Innenleben enthüllt der Anschnitt der Bourbonrosen-Knospe Great Western (Abb. 9; mit Astrablau angefärbt).

Auch Sprossachse und Blätter können, zumal bei Einkeimblättrigen, informative Baumuster präsentieren. Die im Biologieunterricht als Demonstrationsobjekt für Plasmolyse bewährte *Rhoeo discolor* zeigt sich von einer ganz neuen Seite, wenn man ihre Achse quer durchschneidet (Abb. 10). Nach Anfärbung mit Astrablau-Safranin treten die Leitbündel als Orientierungsmarken hervor. In den Blättern liegen sie als Mittelreihe zwischen Ober- und Unterseite. Dagegen strahlen sie im Stängel von der Mitte in abnehmender Zahl zur Peripherie hin aus. Die Tinktur zeichnet getreu jede Zellwand des Parenchyms nach – ein unschätzbare Hilfs-

mittel bei der Einführung der Zellen- und Gewebelehre. Im Gesamtgefüge von Mittel- und Seitenachsen mit ihren mehr oder weniger ausgestalteten Blätterhüllen immer neue bildwirksame Ausschnitte festzulegen, ist mit der Zoomlupe ein qualvolles Vergnügen.

### **Mikroskop und Blume**

Wenngleich mikro- und makroskopische Fotografie in erster Linie sachlichen Zielen dient, schwingen doch im Fotografieren auch andere Motive und Empfindungen mit. Mir hat es, wie verschiedentlich angedeutet, besondere Freude bereitet, in ausgemusterten, überholten und veralteten optischen Präzisionsgeräten das zeitlos Gute zu entdecken und zu nutzen. Ein Hauch von Metamorphose ist zu spüren, wenn sich ein bunter Marken- und Gerätemix in eine einsatzbereite Ausrüstung verwandelt oder ein Mikroskop-Stativ zum Objekt-Träger wird. Nun besitze ich (auch wenn ich mich wiederhole) noch ein weiteres Zwickert-Stativ aus Kieler Fertigung (Nr. 1609) und sah mich er-

neut vor die Frage gestellt, wie denn dieses Gerät (an seinem Herstellungsort) einen würdigen Lebensabend verbringen könne. Statt vieler Worte siehe Abbildung 11. Ein Reagenzglas im (voll ausgezogenen) Tubus macht das messingglänzende Schmuckstück zur attraktiven Vase. Durch diese Blume konnte ich schon manchen Besucher auf Mikroskopie ansprechen und ihn zu einem Blick in das häusliche Labor sowie die mikroskopische Diasammlung einladen. Muster zur Nachahmung freigegeben.

### **Literaturhinweise**

- Lüthje, E.: Ein Tessovar auf Fliegenfang – Freilandaufnahmen mit der Zeiss-Zoom-Fotolupe. *Mikrokosmos* 95, 203–206 (2006).  
Lüthje, E.: Mit dem Tessovar auf Makropirsch – Hautflügler im Garten und auf dem Bürgersteig. *Mikrokosmos* 96, 312–315 (2007).

*Verfasser:* Dr. Erich Lüthje, Kruppallee 13, 24146 Kiel

## **Buchbesprechung**

**Kessler, R., Harley, M.: Pollen – The Hidden Sexuality of Flowers.** Papadakis Publisher, London 2006, 264 Seiten, Großformat, gebunden, £ 35,00, ISBN 1-901092-67-4, und

**Kessler, R., Stuppy, W.: Seeds – Time Capsules of Life.** Papadakis Publisher, London 2006, 264 Seiten, Großformat, gebunden, £ 35,00, ISBN 1-901092-66-6.

Auf dem Schreibtisch des Rezensenten liegen zwei großformatige, mächtig-prächtige und auf jeden Fall beeindruckende Bildbände über Pollen und Samen. Kann das bei der Kleinheit der Objekte sein? Ja, es kann! Denn diese beiden Folianten sind gefüllt mit einer Vielzahl von makroskopischen Farbfotos und rasterelektronenmikros-

kopischen (REM) Aufnahmen hoher bis höchster Qualität. Der Text ist kurz, knapp und präzise, erklärt Sachverhalte und vermittelt hilfreiche wissenschaftliche Hintergrundinformationen.

Dominierend sind natürlich die Abbildungen, die in einer atemberaubenden Druckqualität wiedergegeben werden, die man heutzutage nicht mehr oft antrifft. Es tut dem Ganzen kaum einen Abbruch, dass sich bei den Makrofotos hier und da eine leere Vergrößerung eingeschlichen hat, und dass bei dem einen und anderen REM-Bild eine für unsere Augen etwas anstrengende Farbnuance verwendet wurde. In der Mehrzahl der Fälle trifft die computergestützte Farbgebung einen dominierenden Farbton der entsprechenden Pflanze.

Zweifelsfrei waren Fachleute am Werk. Das trifft gleichermaßen

für die Autoren wie für die Hersteller zu. Hinzu kommt, dass eine respektable, weltweit renommierte Institution als Garant für wissenschaftliche Korrektheit im Hintergrund mit dabei ist, nämlich *The Royal Botanical Gardens, Kew*. Schließlich: Kein geringerer als *HRH The Prince of Wales* hat zum Samenbuch ein wohlwollendes Vorwort geschrieben, was allerdings hauptsächlich wohl für Briten von besonderem Reiz sein dürfte.

Für Mikroskopiker – Amateure gleichermaßen wie Profis – werden zwei im besten Sinne des Wortes als Bilderbücher zu bezeichnende Bände angeboten, deren Erwerb keinen reuen wird, der sich für das Bildhafte der Botanik begeistern kann.

Wilhelm Wagner, Essen

## Nachruf

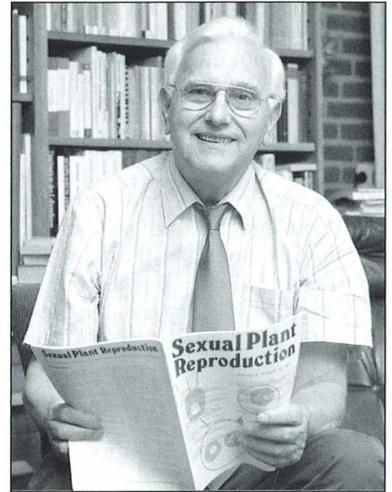
**Mai 1921 – August 2007:**

**Prof. Dr. phil.,  
Dr. h. c. mult. Hansferdinand Linskens**  
– Ein Vermittler zwischen den Welten

Plötzlich und für alle unerwartet verstarb am 13. August 2007 in Beek-Ubbergen, Niederlande, unser langjähriger Autor Prof. Dr. phil., Dr. h. c. mult. Hansferdinand Linskens im hohen Alter von 86 Jahren.

Neben einer Reihe von Hauptartikeln – in der Regel entstanden in Zusammenarbeit mit einem Co-Autor – verfasste H. F. Linskens im Laufe der Zeit für den MIKROKOSMOS weit über 200 Kurzmitteilungen. Für diese Rubrik war er unermüdlich tätig, bis kurz vor seinem Tod. So liegen der Redaktion derzeitig Manuskripte vor, von denen er noch nicht die Korrekturdrucke hat geglesen können, da sie soeben erst gesetzt wurden.

Prof. Linskens war ein in der Wissenschaftslandschaft hoch geachteter Kollege. Er studierte in Köln Biologie mit dem Schwerpunkt Botanik. Nach seiner Promotion erhielt er von der Katholischen Universität Nijmegen, Niederlande, den Ruf auf das erste Ordinariat für Botanik an der Naturwissenschaftlichen Fakultät, das er bis zu seiner Emeritierung im Jahr 1986 innehatte. Er war als begnadeter Hochschullehrer bekannt, der es verstand, junge Studierende für das Fach zu begeistern und immer wieder aufklärungswerte Fragestellungen zu finden, was sich in 37 von ihm betreuten Doktorarbeiten widerspiegelt. Seine akademische Tätigkeit war geprägt von einem bewundernswerten Fleiß: Das Verzeichnis seiner wissenschaftlichen Veröffentlichungen darf aus gutem Grund als außergewöhnlich bezeichnet werden. Eine besondere Würdigung seiner wissenschaftlichen Verdienste ist in der Verleihung von zwei Ehrendoktoraten (Siena, Italien; Lille, Frankreich) zu sehen.



**Hansferdinand Linskens im Spätsommer 1996.  
Das Bild strahlt Begeisterung, Engagement und auch  
Zufriedenheit aus.  
(Foto: Claudius Stumm, Nijmegen, Niederlande)**

Nachdem er in den Ruhestand trat, begann für ihn nicht etwa die Phase des akademischen Nichtstuns. Im Gegenteil: Er nahm Lehraufträge an den Universitäten in Siena und in Eichstätt wahr, um im Rahmen akademischer Lehre sein Wissen weiterzugeben.

Neben der eigenen Forschung war es ihm stets ein Anliegen, Wissenschaft für Nichtwissenschaftler verständlich zu machen. Und genau da hat sein großes Engagement für den MIKROKOSMOS seine Wurzeln. Er gehörte sicherlich zu den wenigen hochkarätigen Wissenschaftlern, die sich nicht zu schade waren, aus ihrem Elfenbeinturm herabzusteigen, um für die interessierten Laien neueste wissenschaftliche Erkenntnisse darzulegen und verständlich zu machen. Die Redaktion des MIKROKOSMOS wird es nicht leicht haben, bald wieder auf einen derartig engagierten und fähigen Autor für die Rubrik *Kurzmitteilungen* zählen zu können.

Claudius Stumm, Nijmegen, Niederlande,  
und Klaus Hausmann,  
Herausgeber MIKROKOSMOS, Berlin

# *Eutintinnus inquilinus* – Ein anhänglicher Ciliat

Rudolf Drews und Klaus Hausmann

**Mehrfach wurde in letzter Zeit über das Meeresplankton berichtet. Waren es zuvor mehr die häufig auftretenden Organismen aus verschiedenen Großgruppen, welche vorgestellt wurden (Drews 1998a, b und 1999a, b; Hausmann, 2006a, b), so konzentriert sich diesmal das Interesse auf eine etwas außergewöhnliche Situation, nämlich auf eine Vergesellschaftung zweier gänzlich unterschiedlicher Einzeller: Ciliat und Diatomee.**

Frisch genommene Planktonproben sind stets dadurch gekennzeichnet, dass in ihnen viel Bewegung ist. Zahlreiche Larvenstadien vielzelliger Tiere schwimmen mal hektisch, mal geruhsam umher. Cnidarier (Nesseltiere) treten oft als mikroskopisch kleine, sich rhythmisch kontrahierende Medusenformen auf. Mit Stielen auf verschiedensten Substraten (andere Organismen, Detrituspartikel) festsitzende Ciliaten aus der Gruppe der Glockentierchen finden sich bisweilen in beeindruckender Vielzahl und fallen durch die typischen Stielkontraktionen auf. Freilebende Flagellaten, dominierend die Panzergeißler (Dinoflagellaten), bewegen sich je nach Art teilweise schnell, meist aber gemächlich durch die Probe. Ja, und dann gibt es die ganz schnellen Wesen, welche durch das Bildfeld im wahrsten Sinne des Wortes rasen.

## **Die rasenden Tintinniden**

Wenn man das Treiben etwas kennt, weiß man, dass es sich bei den Schnellschwimmern in der Regel um Tintinniden handelt, also um Ciliaten, die in einer selbst gefertigten Hülle leben und mit dieser in bemerkenswerter Geschwindigkeit umherzuschwimmen in der Lage sind. Dann tauchen aber auch Formen auf, mit denen man zunächst nichts Rechtes anzufangen weiß. Zum einen schwimmen sie sehr zügig, zum anderen sieht man lange Schwebefortsätze, die einem von Krebslarven (Nauplien), Süßwasserrotatorien (*Notholca*, *Filinia*), Dinoflagellaten oder fädig organisierten Algen her bekannt sind. Sieht man sich diese Plankter, wenn sie einmal etwas zur Ruhe gekommen sind, genauer an, wird man bei einiger Kennt-

nis unschwer feststellen, dass eine zentrische Diatomee der Gattung *Chaetoceros* in Form eines recht kurzen, aus nur drei bis fünf Zellen bestehenden fädigen Aggregats mit im Spiel ist. Diese Alge kann es aber nun wirklich nicht sein, welche für die schnelle Fortbewegung verantwortlich ist. Denn Kieselalgen sind, wenn überhaupt, nur zu sehr langsamen Eigenbewegungen befähigt.

So, wie man rasch festgestellt hat, dass die Diatomeen als Erzeuger der beobachteten schnellen Bewegung ausscheiden, wird man ebenso rasch bemerken, dass mit dem kurzen Algenfilament ein anderer Organismus vergesellschaftet ist. Bei genauem Hinsehen ist dann bald klar, dass es sich um einen Ciliaten handelt. Da dieser Ciliat offenbar in einer Art Gehäuse steckt, liegt der Verdacht nahe, dass es sich hier um einen Tintinniden handelt.

Da es recht unwahrscheinlich ist, dass man bei einer ganz normalen Planktonprobe aus Oberflächenwasser, in der einige dieser Organismenvergesellschaftungen anzutreffen sind, auf etwas absolut Neues gestoßen ist, sollte man die bewährte Fachliteratur zu Rate ziehen. Wenn man nicht im Riedl (1983), Hofrichter (2001, 2003) oder Larink und Westheide (2006) fündig wird, hat man in diesem Fall mit dem Trégouboff und Rose (1957) Erfolg. Ohne Zweifel ist das, was man vorgefunden hat, eine Lebensgemeinschaft von *Chaetoceros tetrastichon* oder *C. dadayi* und *Eutintinnus inquilinus*.

## **Bekannte Gemeinschaften**

Mit diesem Wissen kann man weiter in die ältere Literatur einsteigen. Und da wird man recht bald feststellen, dass diese Lebensgemein-

schaft spätestens seit 1889, als A. S. Famintzin sie erstmals beschrieb, der Wissenschaft bekannt ist. Später wird auch von Gemeinschaften zwischen *Chaetoceros peruvianus* und *Eutintinnus lusus undae* und weiteren Vergesellschaftungen ähnlicher Art berichtet.

Man mag über den seltsam erscheinenden Artnamen (Epitheton) *inquilinus* irritiert sein. Aber ein entsprechendes zoologisches Wörterbuch gibt Auskunft: *Inquilinus* kommt aus dem Lateinischen und heißt soviel wie Untermieter. Wir haben es also mit einem Ciliaten zu tun,

der sich bei einer Diatomeenkette sozusagen eingenistet hat.

Diese Art des Zusammenlebens ist übrigens nicht mit der Situation gleichzusetzen, die beispielsweise bei den Glockentierchen verwirklicht ist, wenn man sie im Plankton findet. Im Gegensatz zu den Tintinniden, die ohne weiteres ohne Substratkontakt leben können, benötigen sessile Peritriche im Adultzustand unbedingt einen festen Substratkontakt. Und das können neben Detritusaggregaten auch Algenfäden sein.

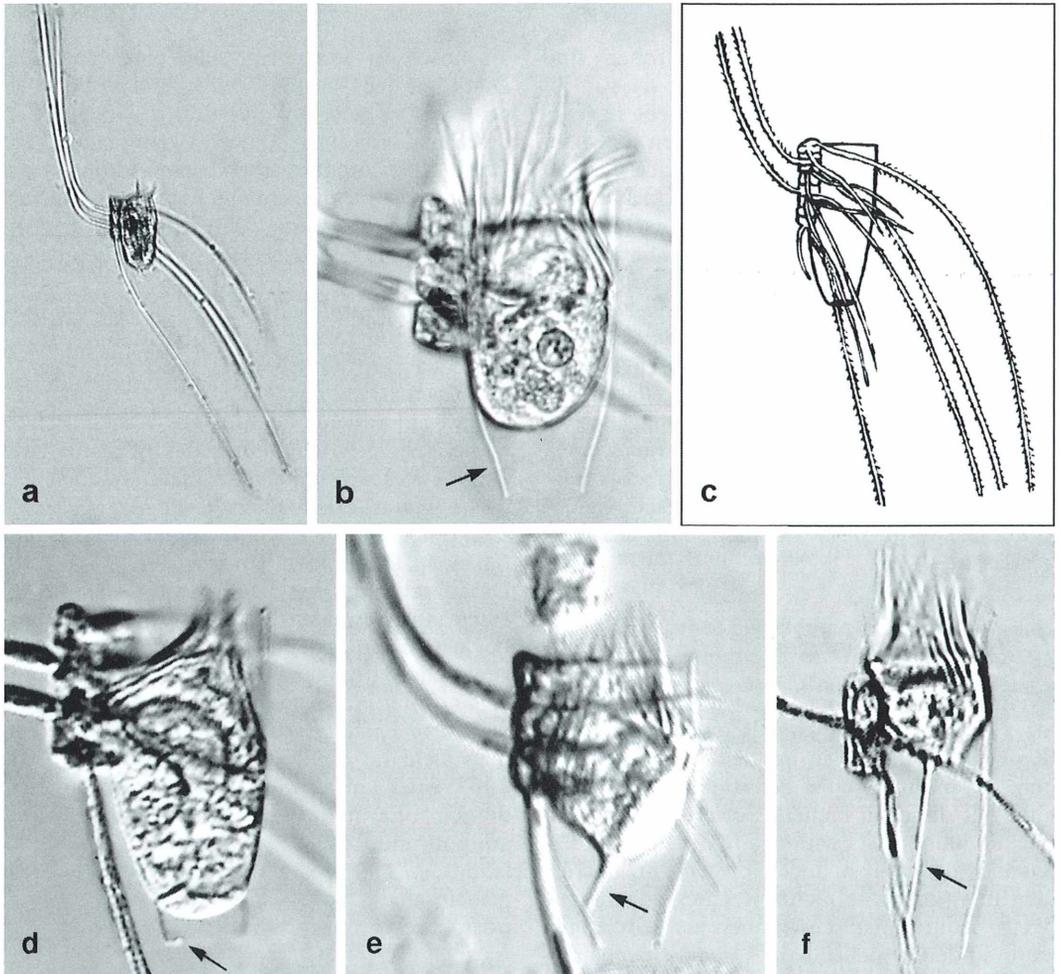


Abb. 1: Vergesellschaftung von *Chaetoceros* mit *Eutintinnus*. a Habitus. b Tintinnide im Gehäuse (Pfeil). c Zeichnerische Darstellung der Lebensgemeinschaft (nach Trégouboff und Rose), in der nur ein leeres Gehäuse von *Eutintinnus inquilinus* dargestellt ist. d Gehäuse mit halb geschlossenem Hinterende (Pfeil). e und f Wahrscheinlich andere Tintinnidenarten mit andersartiger Gehäuse- und Zellmorphologie sowie stielartig ausgezogenem, an der Gehäuse-Innenwand festgehefteten Zelhinterende (Pfeile).

## Und was hat man davon?

Da kommt natürlich sofort die Frage auf, warum der Ciliat das macht. Frei mit ihrer Wohnröhre umher schwimmende Tintinniden kennen wir ja zuhauf. Welchen Vorteil soll die Festheftung an einem größeren und gleichzeitig auch behäbigeren Substrat bringen? Auf Anhieb lässt sich diese Frage nicht beantworten. Taucht man etwas tiefer in die speziellere Fachliteratur ein, wird man herausfinden, dass generell die Festheftung an einem Substrat für die filtrierenden Tintinniden den Effekt mit sich bringt, dass sie erheblich effektiver an ihre Nahrung kommen (Jonsson et al., 2004).

Um das besser verstehen zu können, muss man wissen, dass Tintinniden zu den Filtrierern gehören. Das heißt, dass sie ihre Cilien nicht nur zur Fortbewegung einsetzen, sondern auch dazu, einen Wasserstrom in der Art zu erzeugen, dass Nahrungspartikel in die Mundregion befördert werden, wo sie aus dem Medium herausfiltriert und phagocytiert (gefressen) werden. Am Beispiel von *T. inquilinus* hat man herausgefunden, dass bei angehefteten Formen die Fressrate um 80% höher ist als bei freischwimmenden. Das wird erklärt mit Änderungen in der Strömungsdynamik des umgebenden Wassers: Verglichen mit frei umherschwimmenden *T. inquilinus* ist bei mit dem Kieselalgenfaden verbundenen Formen die Strömungsgeschwindigkeit des umgebenden Mediums, aus dem die Nahrungspartikel filtriert werden, erheblich höher. Somit kann pro Zeiteinheit eine größere Menge von Nahrungspartikeln aufgenommen werden.

Weiß man dieses, muss man nicht mehr grübeln, welcher biologische Sinn einer solchen Lebensgemeinschaft zugrunde liegen mag. Für die Tintinniden ist es ziemlich klar. Neben der verbesserten Filtrierleistung schützen sie darüber hinaus die langen Schwebefortsätze der *Chaetoceros*-Algen vor den natürlichen Fraßfeinden, deren Mundapparate auf kleinere Futtergrößen eingestellt sind. Für die Diatomeen erkennt man derzeit keinen offensichtlichen Vorteil, außer dass durch die am Faden in Form der Tintinnide angehefteten Fortbewegungseinheit einem zu schnellen Absinken in der Wassersäule effektiv entgegengearbeitet wird. Umgekehrt zwingen die Borsten der Kieselalge der Tintinnide eine Schwimmweise auf, die sich von der des frei beweglichen Ciliaten unterscheidet. Vorstellbar wäre auch ein Übertritt von löslichen Stoffwechselprodukten des

Tintinniden zur Diatomee. Somit hätten wir es mit einer Lebensgemeinschaft zu tun, die im Gegensatz zur echten Symbiose nicht obligatorisch und nicht permanent ist; denn Ciliat und Diatomee sind auch getrennt voneinander lebensfähig.

## Antworten werfen neue Fragen auf

Man mag sich abschließend die Frage stellen, wie es überhaupt zu einem mechanisch stabilen Zusammenschluss von zwei so unterschiedlichen Lebewesen kommt. Ist es ein fein ausgeklügeltes System, was dem Ganzen zugrunde liegt, oder haben wir es mit einer einfach zu erklärenden Situation zu tun?

Ein weiterer Blick in die Literatur bringt bei dieser Frage nicht unbedingt Klarheit, aber doch Denkanstöße. Die Oberflächen der Gehäuse zumindest bestimmter Tintinniden sollen nämlich klebrig sein, was im vorliegenden Fall das Anhaften der Tintinniden an der Diatomeenkette erleichtert oder überhaupt erst ermöglicht. Es fragt sich allerdings, wie es der Ciliat schafft, ein geeignetes *Chaetoceros*-Stück aufzuspüren und stets in der ganz spezifischen Weise seitlich an dem Faden anzudocken. Somit haben wir wieder einmal ein biologisches Phänomen vor Augen, das wir bei flüchtigem Hinschauen zunächst nicht verstehen, dann bei genauerer Analyse zu verstehen glauben und schließlich bei intensiverem Hinterfragen doch nicht im Detail erklären können.

## Literaturhinweise

- Drews, R.: Plankton der Meere – Teil I: Kieselalgen. Mikrokosmos 87, 257–262 (1998).
- Drews, R.: Plankton der Meere – Teil II: Protozoen. Mikrokosmos 87, 369–373 (1998).
- Drews, R.: Plankton der Meere – Teil III: Metazoenlarven. Mikrokosmos 88, 7–12 (1999).
- Drews, R.: Plankton der Meere – Teil IV: Metazoen. Mikrokosmos 88, 209–213 (1999).
- Famintzin, A. S.: Symbiosis of *Chaetoceros* alga (Diatomaceae) with ciliate *Tintinnus inquilinus*. Proc. Spb Soc. Nat. Soc. 20, 3–4 (1889).
- Hausmann, K.: Plankton der Meere – Einzellige Kostbarkeiten aus ozeanischem Oberflächenwasser. Teil 1: Diatomeen, Dinoflagellaten, Foraminiferen, Ciliaten. Mikrokosmos 95, 298–304 (2006).
- Hausmann, K.: Plankton der Meere – Einzellige Kostbarkeiten aus ozeanischem Oberflächenwasser. Teil 2: Radiolarien. Mikrokosmos 95, 362–368 (2006).
- Hofrichter, R. (Hrsg.): Das Mittelmeer – Fauna, Flora, Ökologie. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2001 (Teil 1) und 2003 (Teil 2).

Jonsson, P. R., Johansson, M., Pierce, R. W.: Attachment to suspended particles may improve foraging and reduce predation risk for tintinnid ciliates. *Limnol. Oceanogr.* 49, 1907–1914 (2004).

Larink, O., Westheide, W.: *Costal plankton – Photo guide for European seas.* Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München 2006.

Riedl, R. (Hrsg.): *Fauna und Flora des Mittelmeeres*, 3. Auflage. Paul Parey, Hamburg 1983.

Trégouboff, G., Rose, M.: *Manuel de planctonologie méditerranéenne*, tome I + II. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris 1957.

*Verfasser:* Rudolf Drews, Str. 366, Nr. 3, 13503 Berlin, E-Mail: [opalinaebony@t-online.de](mailto:opalinaebony@t-online.de), und Prof. Dr. Klaus Hausmann, Freie Universität Berlin, Institut für Biologie/Zoologie, AG Protozoologie, Königin-Luise-Str. 1–3, 14195 Berlin, E-Mail: [hausmann@zedat.fu-berlin.de](mailto:hausmann@zedat.fu-berlin.de)

## Kurze Mitteilung

### Stärkekorner-Struktur

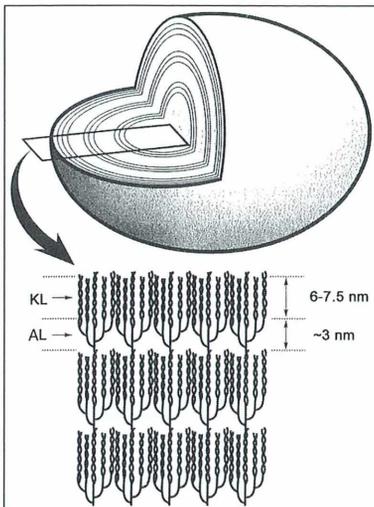
Stärke ist das meist verbreitete Reservekohlenhydrat pflanzlichen Ursprungs. Sie stellt etwa 80% der täglich aufgenommenen Kalorien in der menschlichen Ernährung dar. Stärke ist ein unlösliches Polymer aus Glukose und Hauptbestandteil in vielen Samen und pflanzlichen Speicherorganen (z.B. Kartoffel). In den höheren Pflanzen wird die Stärke im Innern der Plastiden synthetisiert, deren Funktion von dem spezifischen Plastidentyp abhängt. Die Speicherstärke aus dem Endosperm der Getreidearten liefert 90% der Stärke des Weltmarktes. Das Stärkekorner hat eine komplexe Struktur (Abb. 1). Es setzt sich aus zwei Typen von Glukose-Polymeren zusammen, der weitgehend unverzweigten Amylose in  $\alpha$ -(1 → 4)-Glukan-Ketten und dem Amylopektin, einem größeren Glukan-Polymer in  $\alpha$ -(1 → 6)-Ket-

ten, die 75% der Kornmasse ausmachen. Die Cluster aus alternierenden Regionen von semikristallinem und amorphem Material resultieren in den Wachstumsringen, welche in vielen Formen der pflanzlichen Speicherstärke zu beobachten sind. Die Synthese dieses architektonischen Polymer-Komplexes kommt durch die koordinierte Wechselwirkung zahlreicher bei der Stärkesynthese mitwirkenden Enzymen zustande. Deren Kenntnis ist Voraussetzung für Eingriffe, welche die Produktion von verschiedenen funktionellen Stärkearten möglich machen sollen.

#### Literaturhinweis

Tetlow, I. J.: Understanding storage starch biosynthesis in plants: a means to quality improvement. *Canadian Journal of Botany* 84, 1167–1185 (2006).

H. F. Linskens, Nijmegen



**Abb. 1:** Schematische Darstellung der Struktur des Stärkekorners. Amorphe (AL) und semi-kristalline (KL) Zonen wechseln miteinander ab; jede hat eine Dicke von einigen hundert Nanometern. Paare dieser Zonen bilden die Wachstumsringe. Es wird angenommen, dass die amorphen Zonen Amylopektin enthalten und in einem weniger geordneten Zustand sind. Sie wechseln ab mit Amylose, die in einer prä-existierenden Amylopektin-Matrix synthetisiert wird. Die Vergrößerung der semi-kristallinen Wachstumsringe illustriert die alternierende Anordnung der kristallinen (KL) und amorphen (AL) Lamellen. Das Amylopektin besteht aus zahlreichen strukturellen Einheiten, Cluster genannt, die als Tandem verbunden sind. Die Länge der kristallinen und amorphen Regionen (etwa 9–10 nm) ist unabhängig vom Ursprung der Stärke (nach Tetlow).

# Digitale Blitzlichtfotografie mit einem Stereo-Zoom-Mikroskop

Helmuth Michelbach

Dieser Artikel beschreibt, wie mit dem Einsatz des Stereo-Zoom-Mikroskops SMZ 1500 der Firma Nikon auch von sich bewegenden Objekten in einfacher Weise fotografische Aufnahmen in Auflicht-, Durchlicht- und Dunkelfeldtechnik gemacht werden können. Als Kamera ist die digitale Spiegelreflexkamera (DSLR) Nikon D200 in Verwendung. Für die Aufnahmen wurde wahlweise das Nikon Autofokus-Blitzgerät SB-800 oder der Nikon Makroblitz R1C1 eingesetzt.

**M**it dem SMZ 1500 können Abbildungsmaßstäbe von 1:0,5 (halbe natürliche Größe; Tab. 2) bis 75:1 (Tab. 3–5) erreicht werden. Mit steigender Vergrößerung und der damit verbundenen Verringerung der Schärfentiefe wird der Abbildung von dreidimensionalen Objekten zum Zwecke der Wiedererkennung oder Demonstration meist eine Grenze gesetzt. Von der künstlerischen Bildwirkung kann das Versinken von Details in die Unschärfe sowohl in der Schwarz-Weiß- wie in der Farbdarstellung ausdrucksstark und reizvoll sein.

## Technische Ausrüstung: Mikroskop und Objektive

Das Modell SMZ 1500 ist ein binokulares Mikroskop mit Parallel-Optik, einem 15fachen Zoombereich und einem modularen Baukastensystem. Um fotografische Aufnahmen machen zu können, muss ein Strahlenteilermodul aufgesetzt werden. Mit den drei für dieses Mikroskop gerechneten apochromatisch korrigierten Objektiven (P-HR Plan Apo 0,5 $\times$ , P-HR Plan Apo 1,0 $\times$  und P-HR Plan Apo 1,6 $\times$ ; Abb. 2), die eine hohe numerische Apertur aufweisen, werden durch die außergewöhnliche Auflösung ausgezeichnete Ergebnisse bis zum Randbereich erzielt. Ebenso sind axiale und laterale chromatische Aberration sehr gut korrigiert, sodass lebensechte Farben erzeugt werden. Die beobachteten Bilder sind unverzerrt und wirken natürlich, da scheinbare Wölbungen von Objekten nicht auftreten. Mit einer eingebauten Aperturblende kann Einfluss auf die Schärfentiefe genommen werden. Bei Ver-



1



2

**Abb. 1:** Auf das Strahlenteilermodul des Mikroskops ist die DSLR D200 zusammen mit der DX-Zwischenoptik aufgesetzt. An die DSLR sind drei Kabel angeschlossen – für den Fußschalter, für den Computeranschluss mittels USB und für die externe Stromversorgung. – **Abb. 2:** Die drei P-HR Plan Apo Objektive von links nach rechts: 0,5 $\times$ , 1,6 $\times$  und 1,0 $\times$ .

wendung von 10fach Okularen (C-W10×) bilden die drei Objektive einen Gesichtsfelddurchmesser ab, der aus Tabelle 1 zu entnehmen ist. Für das P-HR Plan Apo 0,5× ist wegen des hohen Arbeitsabstandes eine Stativverlängerung notwendig.

Die Betrachtung des Objektes wird dreidimensional wahrgenommen. Die Abbildung auf dem Sensor kann aber nur zweidimensional wiedergegeben werden. Dazu teilt das aufgesetzte Strahlenteilermodul den Lichtstrahl, der von der linken Stereo-Zoom-Zwischenoptik kommt (linke und rechte Stereo-Zoom-Zwischenoptik liefern zwei parallele Strahlengänge und befinden sich nach dem P-HR Plan Apo-Objektiv), zu je 50% auf den Fototubus und das linke Okular auf (Abb. 1). Dieser Hinweis ist bei der Betrachtung zum Zwecke der Fotografie deshalb von Bedeutung, da jenes Bild auf dem Sensor abgebildet wird, das mit dem linken Auge gesehen wird. Die beiden Bilder, die jeweils auf das linke und rechte Auge treffen, sind nicht nur seitlich verschoben (dies ermöglicht ja die dreidimensionale Bildwahrnehmung), sondern auch die Beleuchtungseffekte und die exakte Scharfstellung weisen Unterschiede auf, da mit verschiedenen Blickwinkeln betrachtet wird. Mit steigender Vergrößerung wächst dieser Effekt.

### **Bildprojektion mit DX-Zwischenoptik oder Fototubusadapter**

Um ein Bild mit einer DSLR fotografisch abbilden zu können, gibt es mit diesem Mikroskop zwei Möglichkeiten der Projektion auf den Kamerasensor.

- a) Auf das Strahlenteilermodul wird die DX-Zwischenoptik aufgesetzt, die am oberen Ende ein Nikonbajonett hat, auf das die DSLR aufgesetzt wird. Bei dieser Anwendung werden für die Fotografie praktikablere und auch kleinere Abbildungsmaßstäbe erzielt als mit dem Fototubusadapter. Auf dem Sensor werden dann Bilder in verschiedenen Größenmaßstäben abgebildet (Tab. 2).
- b) Auf das Strahlenteilermodul wird der circa 200 mm lange Fototubusadapter aufgesetzt, der am oberen Ende ein Nikonbajonett hat, auf das die DSLR aufgesetzt wird. Im Fototubusadapter muss ein Fotoobjektiv (Projektiv) eingesetzt sein. Es gibt drei dazu passende Stärken von Fotoobjektiven mit den Faktorbezeichnungen 2,0, 2,5 und 4,0. Auf

dem Sensor wird dann jeweils ein Bild in der Größe abgebildet, wie in den Tabellen 3, 4 und 5 ersichtlich ist. Alle Zahlen in den Tabellen sind gerundet.

Die Abbildungsbeispiele in den Abbildungen 3a bis 5b zeigen zum Größenvergleich eine 2-Euro-Münze.

### **Digitale Spiegelreflexkamera und Steuerungssoftware Camera-Control-Pro der Firma Nikon**

Das Modell D200 hat 10,2 Megapixel, einen CCD-Sensor mit der Größe von 23,6 mm mal 15,8 mm und eine maximale Bildgröße von 3872 mal 2592 Pixel.

Die Installation der Steuerungssoftware Camera-Control-Pro auf den Computer ist deshalb notwendig, da sie die Belichtungssteuerung übernimmt und das aufgenommene Bild nach einigen Verarbeitungssekunden am Computermonitor angezeigt wird.

Für die Arbeit am Mikroskop sind zwei Arten der Kameraauslösung angezeigt. Bei statischen Motiven kann dies mit der Maus geschehen, bei bewegten Objekten ist ein Fußschalter von unschätzbarem Vorteil.

### **Nikon Autofokus-Blitzgerät SB-800**

Das SB-800 ist ein Autofokus-Blitzgerät mit einer Leitzahl von 38 bei ISO 100 bei einer Reflektoreinstellung von 35 mm. Es kann auch mit einem Synchronkabel ausgelöst werden. Ein weiteres Blitzgerät wird ausgelöst, wenn dieses auf einen lichtempfindlichen Blitzsensor aufgesteckt ist, der durch das Licht des Hauptblitzes den aufgesetzten Blitz auslöst. Weiters besteht die Möglichkeit, auf den Blitzschuh der DSLR die Infrarot-Blitzfernsteuerungseinheit SU-800 aufzusetzen, und diese löst bei Auslösung der Kamera das Blitzgeräte aus, oder sogar mehrere.

### **Nikon Makroblitz R1C1**

Dieser Blitz ist zunächst für die Makroblitztechnik in Verbindung mit einem Makroobjektiv konzipiert und stellt eine Erweiterung der Ringblitztechnik dar, denn die einzelnen kleinen Slave-Blitzgeräte (SB-R200, 2 Stück beinhaltet das Makroblitzset R1C1) können ringförmig

**Tabelle 1: Technische Daten des Stereo-Zoom-Mikroskops SMZ 1500 von Nikon.**

Objektiv	P-HR Plan Apo 0,5x	P-HR Plan Apo P-HR 1,0x	P-HR Plan Apo 1,6x
Numerische Apertur bei kleinster und größter Zoomeinstellung	0,012 0,066	0,023 0,131	0,037 0,21
Arbeitsabstand	136 mm	54 mm	24 mm
Auflösung			630 Linien/mm
Gesichtsfelddurchmesser	58,7–3,9 mm	29,3–2,0 mm	18,3–1,2 mm
Gesamtvergrößerung bei 10x Okular	3,8–56,3x	7,5–112,5x	12,0–180,0x

**Tabelle 2: Abbildungsmaßstäbe des Stereo-Zoom-Mikroskops SMZ 1500 von Nikon mit DX-Zwischenoptik.**

Objektiv	P-HR Plan Apo 0,5x	P-HR Plan Apo 1,0x	P-HR Plan Apo 1,6x
Bei kleinster und größter Zoomstellung	29 mm × 43,5 mm 1,9 mm × 2,9 mm	14,5 mm × 21,7 mm 1,0 mm × 1,5 mm	9,1 mm × 13,6 mm 0,6 mm × 0,9 mm
Abbildungsmaßstab	0,5:1 bis 8:1	1,1:1 bis 16:1	1,7:1 bis 26:1

**Tabelle 3: Abbildungsmaßstäbe des Stereo-Zoom-Mikroskops SMZ 1500 von Nikon mit Fotoobjektiv 2,0 im Fototubus.**

Objektiv	P-HR Plan Apo 0,5x	P-HR Plan Apo 1,0x	P-HR Plan Apo 1,6x
Bei kleinster und größter Zoomstellung	13,4 mm × 20,1 mm 0,9 mm × 1,4 mm	6,7 mm × 10,1 mm 0,4 mm × 0,7 mm	4,2 mm × 6,2 mm 0,3 mm × 0,4 mm
Abbildungsmaßstab	0,7:1 bis 11:1	1,5 :1 bis 22:1	2,4:1 bis 36:1

**Tabelle 4: Abbildungsmaßstäbe des Stereo-Zoom-Mikroskops SMZ 1500 von Nikon mit Fotoobjektiv 2,5 im Fototubus.**

Objektiv	P-HR Plan Apo 0,5x	P-HR Plan Apo 1,0x	P-HR Plan Apo 1,6x
Bei kleinster und größter Zoomstellung	16,8 mm × 25,1 mm 1,1 mm × 1,7 mm	8,4 mm × 12,6 mm 0,6 mm × 0,85 mm	5,3 mm × 7,8 mm 0,35 mm × 0,5 mm
Abbildungsmaßstab	0,9:1 bis 14:1	1,9:1 bis 28:1	3:1 bis 45:1

**Tabelle 5: Abbildungsmaßstäbe des Stereo-Zoom-Mikroskops SMZ 1500 von Nikon mit Fotoobjektiv 4,0 im Fototubus.**

Objektiv	P-HR Plan Apo 0,5x	P-HR Plan Apo 1,0x	P-HR Plan Apo 1,6x
Bei kleinster und größter Zoomstellung	10,2 mm × 15,2 mm 0,7 mm × 1,0 mm	5,1 mm × 7,6 mm 0,34 mm × 0,5 mm	3,2 mm × 4,7 mm 0,2 mm × 0,3 mm
Abbildungsmaßstab	1,6:1 bis 23:1	3,1:1 bis 46:1	5:1 bis 75:1

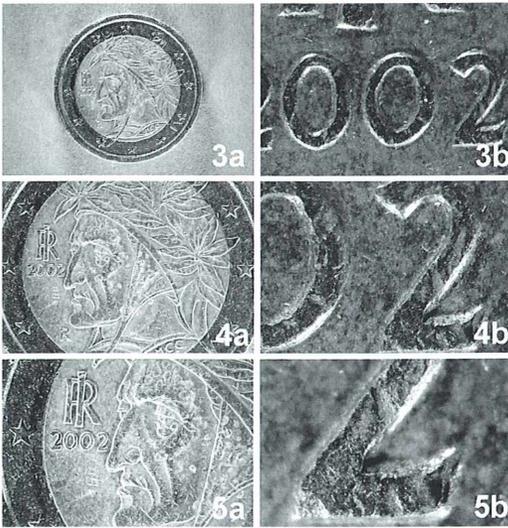


Abb. 3–5: Münze zum Vergleich der Abbildungsmaßstäbe bei Aufnahmen mit verschiedenen Objektiven. – Abb. 3: Objektiv P-HR Plan Apo 0,5 $\times$ . – Abb. 4: Objektiv P-HR Plan Apo 1,0 $\times$ . – Abb. 5: Objektiv P-HR Plan Apo 1,6 $\times$ . Bei allen Aufnahmen wurde die DX-Zwischenoptik eingesetzt. Die Abbildungen „a“ wurden jeweils mit kleinster und die Abbildungen „b“ mit größter Zoomstellung gemacht.



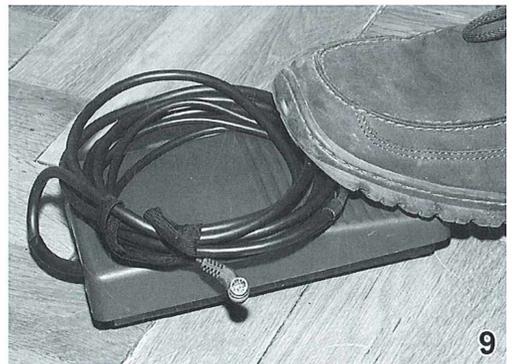
6



7

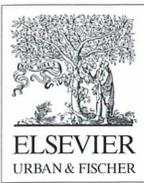


8



9

Abb. 6: Von links nach rechts: Slave Blitzgerät SB-R200 auf Standfuß montiert, Standfuß einzeln, Blitzfernsteuerungseinheit SU-800, Standfuß für Blitzgerät SB 800 und SB 800 auf einen Standfuß gestellt. – Abb. 7: Der Gelenkarm ist zwecks Standfestigkeit auf eine Metallplatte geschraubt und hat am anderen Ende einen Adapter, der den Blitzkopf SB R200 trägt. – Abb. 8: Das auf einen Gelenkarm befestigte Einstelllicht beleuchtet ein Objekt im Aufnahmebehälter. – Abb. 9: Fußschalter zum Auslösen der Aufnahme.



# MIKROKOSMOS

Zeitschrift für Mikroskopie

Herausgegeben von  
Klaus Hausmann (Berlin)

96. Jahrgang · 2007

**Impressum**

**Herausgeber:** Prof. Dr. Klaus Hausmann, Institut für Biologie/Zoologie, Freie Universität Berlin, Königin-Luise-Straße 1–3, 14195 Berlin, Telefon: +49(0)30/83 85 64 75, Telefax: +49(0)30/83 85 64 77, E-Mail: hausmann@zedat.fu-berlin.de; Redaktionsassistentin: Dr. Renate Radek, Institut für Biologie/Zoologie, Freie Universität Berlin, Königin-Luise-Str. 1–3, 14195 Berlin, Tel.: +49(0)30/83 85 63 73, E-Mail: rradek@zedat.fu-berlin.de

**Verlag:** Elsevier GmbH, Niederlassung Jena, Postfach 10 05 37, 07705 Jena, Deutschland.

Tel.: +49(0)36 41/62 63, Fax: +49(0)36 41/62 65 00, E-Mail: journals@elsevier.com

**Anzeigenleitung:** Elsevier GmbH, Niederlassung Jena, Deutschland, Ansprechpartner: Erika Baier, Löbdergraben 14a, 07743 Jena.

Tel: +49(0)36 41/62 64 48, Fax: +49(0)36 41/62 64 21; E-Mail: e.baier@elsevier.com

**Anzeigenpreise:** Gültig ist die Preisliste vom 1. Januar 2007.

**Lieferkonditionen (2007):** Band 96 (1 Band mit 6 Ausgaben)

**Abopreise\* (2007):**

Land	Bandpreis	Vorzugspreis für Schüler, Azubis und Studenten	Einzelheft
D, A, CH, FL <sup>#</sup>	72,00 EUR	45,00 EUR	15,00 EUR

<sup>#</sup> Deutschland, Österreich, Schweiz, Liechtenstein

\*Die Preisangaben sind unverbindliche Preisempfehlungen. Preisänderungen müssen wir uns vorbehalten. Alle Preise verstehen sich inklusive Versandkosten und exklusive Umsatzsteuer. Bei der Rechnungsstellung wird Umsatzsteuer gemäß der zum Rechnungszeitraum geltenden Richtlinien erhoben. Versand per Luftpost ist möglich, Preise auf Anfrage. Kunden in den EU-Ländern werden gebeten ihre Umsatzsteuernummer anzugeben.

Der Verlag behält sich das Recht vor, Zusatzbände im Abonnementzeitraum zu publizieren. Erscheinende Supplement-Bände zu einzelnen Zeitschriften sind in den genannten Preisen enthalten.

**Kündigung von Abonnements:** Abonnements laufen jeweils für ein Kalenderjahr und werden automatisch verlängert, falls nicht bis zum 31. Oktober des Jahres gekündigt wird.

**Abonnements:** Bitte richten Sie ihre Bestellung an Elsevier GmbH, Niederlassung Jena, Aboservice/Vertrieb, Postfach 10 05 37, 07705 Jena, Deutschland. Tel: +49(0)36 41/62 64 47, Fax: +49(0)36 41/62 64 43, E-Mail: k.ernst@elsevier.com

**Bankverbindung:** Deutsche Bank AG Reutlingen, Kontonummer 159 9950 (BLZ 640 700 85), IBAN DE54 6407 0085 0159 9950 00; BIC DEUTDE33HAN

Postbank Stuttgart, Kontonummer 6930-706 (BLZ 600 100 70), IBAN DE80 6001 0070 0006 9307 06, BIC PBNKDE33

Bitte geben Sie bei der Zahlung ihre vollständigen Daten an.

**Copyright:** Alle Artikel, die in dieser Zeitschrift veröffentlicht werden, sind urheberrechtlich geschützt, alle Rechte vorbehalten. Ohne schriftliche Erlaubnis des Verlages ist es verboten, Teile der Zeitschrift in irgendeiner Form zu reproduzieren. Dies beinhaltet ebenso die Digitalisierung, als auch jede andere Form der elektronischen Weiterverarbeitung, wie Speichern, Kopieren, Drucken oder elektronische Weiterleitung des digitalisierten Materials aus dieser Zeitschrift (online oder offline).

Für den allgemeinen Vertrieb von Kopien für Anzeigen- und Werbezwecke, für die Neuzusammenstellung von Sammelbänden, für den Wiederverkauf und andere Recherchen muss eine schriftliche Erlaubnis vom Verlag eingeholt werden.

**Satzstudio:** SATZREPROSERVICE GmbH Jena, Talstraße 84, 07743 Jena.

**Druck/Bindung:** Gulde-Druck GmbH, Hechinger Str. 264, 72072 Tübingen.

(∞) Seit Band 85, Ausgabe 1 (1996) erfüllt das Papier, das für diese Zeitschrift genutzt wurde, die Anforderungen von ANSI/NISO Z39.48-1992 (Beständigkeit von Papier).

Hergestellt in Deutschland

Alle Rechte vorbehalten.

© Elsevier GmbH

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

## Verfasserverzeichnis

- Akarsu, S., Hausmann, K.: Lebenszyklus des colpodiden Ciliaten *Bresslauides australis* – Eine chromomorphologische Studie 25
- Angenormstein, F., Ziegler, A.: Analyse von Seeigeln (Echinoidea) mit Hilfe der bildgebenden Magnetresonanztomographie 49
- Beer, H. G.: Sukzession – Lebensgemeinschaften im Wandel 257
- Bettighofer, W.: Das Stereomikroskop als vollwertiges Beobachtungsinstrument für Mikro-Objekte 188
- Bettighofer, W.: LED-Beleuchtung für das Stereomikroskop 316
- Brief, J.: *Biomyxa vagans* – Weitere Studien und Beobachtungen: Kultur, Zellkerne, Cysten und morphologische Besonderheiten 268
- Burba, M.: Johann Diedrich Möller (1844–1907) – Über die Kunst, Diatomeen zu legen 7
- Burzlaff, A.: Keiner klebt so stark wie *Caulobacter* 378
- Dittmayer, C.: Bauanleitung und Erfahrungsbericht über ein selbst gefertigtes Vibrationsmikrotom 242
- Drews, R.: LED – Ganz einfach 59
- Drews, R.: Mit dem Exkursionsmikroskop am Mittelmeer – Mikroskopische Beobachtungen an der Leuchtqualle (*Pelagia noctiluca*) 321
- Drews, R., Hausmann, K.: *Eutintinnus inquilinus* – Ein anhänglicher Ciliat 345
- Gad, G.: Ein besonderer Winteraspekt: Ruderfußkrebse (Copepoden) als Laubbewohner in bodenfeuchten Niederungswäldern 83
- Gassmann, D.: Die Ligula der Kleinlibellen im Rasterelektronenmikroskop – Morphologische Strukturen und evolutionsbiologische Bedeutung 183
- Glück, Ch.: Beobachtungen an der seltenen Moos-Thekamöbe *Amphizonella violacea* 129
- Glück, Ch.: Leidys Schmetterlinge – Eine merkwürdige Variation der Moor-Schalenamöbe *Hyalosphenia papilio* (Leidy, 1874) 275
- Hasenpusch, W., Zaiß, T.: Maritime Bionik: Schlangensterne. Teil 1: Mundwerkzeuge und Stacheln 357
- Hausmann, K.: Editorial – 1907–2007: 100 Jahre Mikrokosmos 1
- Hausmann, K., Akarsu, S.: Lebenszyklus des colpodiden Ciliaten *Bresslauides australis* – Eine chromomorphologische Studie 25
- Hausmann, K., Drews, R.: *Eutintinnus inquilinus* – Ein anhänglicher Ciliat 345
- Hausmann, K., Walz, B.: *Zoothamnium pelagicum*: Ein sessiler, kolonialer Ciliat lebt vereint zu Gruppen 217
- Hess, S.: Ein Moos fängt Tiere – Zoophagie bei *Pleurozia purpurea*. Teil 1: Anatomie und Biologie des Lebermooses 35
- Hess, S.: Ein Moos fängt Tiere – Zoophagie bei *Pleurozia purpurea*. Teil 2: Untersuchungen in der Natur 75
- Hippe, E.: Die Borstenamöbe – Leidys *Ouramoeba vorax* und ihr Pilz 204
- Hoc, S.: Ostrakoden – Bewohner unterschiedlichster aquatischer Habitats 157
- Hoc, S.: Die Vielfalt der Stärkekörner im Vergleich 238
- Hoc, S.: Von welchem Baum stammt das Holz? Teil 1: Nadelhölzer 325
- Hormann, J.: Mikrofossilien aus dem Nusplinger Plattenkalk 147
- Ibs, J. H.: Mikroskopie in der Schule zwischen 1871 und 1914. Teil 1: Bedeutung von Naturwissenschaften und Mikroskopie in Gesellschaft und Schule 291
- Ibs, J. H.: Mikroskopie in der Schule zwischen 1871 und 1914. Teil 2: Mikroskope, mikroskopische Präparate und Lehrerfortbildung 329
- Kieneke, A., Riemann, O.: Eine interessante Teilgruppe der Süßwassergastrotrichen (Bauchhärlinge): Neogosseidae und Dasydytidae 139
- Kieneke, A., Riemann, O.: *Drilophaga bucephalus* – Ein seltenes ektoparasitisches Rädertier 263
- Lüthje, E.: Mit dem Tessoar auf Makropirsch – Hautflügler im Garten und auf dem Bürgersteig 312
- Lüthje, E.: Anschnitt im Auflicht – Lupenfotos mit dem Zeiss-Tessoar 339
- Lüttgen, M.: Ökologie der interstitiellen Mikro- und Meiofauna – Ein Glossar zur Ökologie und Untersuchungsmethodik des Mesopsammon und Hyporheon 207
- Maidhoff, A.: Morphologische Beobachtungen über Verbreitungseinrichtungen an Samen und Früchten von bedecktsamigen Pflanzen. Teil 2: Einrichtungen zur Tier-, Wasser- und Selbstverbreitung 18
- Michel, R., Zöller, L.: Beobachtungen zum Beutefangverhalten verschiedener amöbophager Pilze der Gattung *Acaulopage* (Zoopagaceae) 151
- Michel, R.: Anzucht von nematophagen Pilzen und Beobachtung ihrer ausgeklügelten Fangmethoden 233
- Michelbach, H.: Digitale Blitzlichtfotografie mit einem Stereo-Zoom-Mikroskop 349
- Ortner, B.: Der seltene Sumpfporst *Ledum palustre* 193
- Piper, J.: Technische Realisation digitaler Mikrofotografie mit handelsüblichen Consumer-Digital-

- kameras. Teil 1: Allgemeine Aspekte, Verwendung von Kompakt- und Bridgekameras 111
- Piper, J.:** Technische Realisation digitaler Mikrofotografie mit handelsüblichen Consumer-Digitalkameras. Teil 2: Digitale Spiegelreflex-Kameras, Elektronenblitz-Fotografie, zukünftige Entwicklungen 173
- Piper, J.:** Relief-Phasenkontrast – Eine universell einsetzbare Modifikation des Phasenkontrasts mit verbesserter Bildqualität 223
- Riemann, O., Kieneke, A.:** Eine interessante Teilgruppe der Süßwassergastrotrichen (Bauchhärlinge): Neogosseidae und Dasydytidae 139
- Riemann, O., Kieneke, A.:** *Drilophaga bucephalus* – Ein seltenes ektoparasitisches Rädertier 263
- Schnepf, E.:** Fühltüpfel in Ranken – Wie man sie leichter entdecken kann 55
- Schnepf, E.:** Der Blütenstand des Aronstabs – Osmophor und Kesselfalle mit Kamin 65
- Schnepf, E.:** Wachse – Rekrystallisiert 249
- Schnepf, E.:** Endoreduplikation beeinflusst die Größe und das Differenzierungspotential von Pflanzenzellen 367
- Schulz, P., Steiner, E.:** Plössl-Mikroskope im Vergleich mit modernen Geräten 161
- Steiner, E., Schulz, P.:** Plössl-Mikroskope im Vergleich mit modernen Geräten 161
- Steinkohl, H. J.:** *Closterium sublaterale* – Eine sehr seltene Zieralge 3
- Steinkohl, H. J.:** Dias mit der digitalen Kamera abfotografieren – Selbstbau einer „digitalen Lichtbox“ 101
- Steinkohl, H. J.:** „Digitale Lichtbox“, die Zweite – Dias mit der digitalen Kamera abfotografieren 308
- Sturm, R.:** Von der äußeren Morphologie zur zellulären Ultrastruktur – Mikroskopische und zeichnerische Dokumentation eines Insektenorgans 281
- Teichert, G.:** Ein Mikroskop auf Teilzahlung 136
- Väth, R.:** Der Echte Thymian – Arzneipflanze des Jahres 2006 167
- Voß, H.-J.:** Einzellersuche im Wohnzimmer – Interessante Protisten aus einem Warmwasseraquarium 301
- Walz, B.:** Zellen und Strukturen mit berühmten Namen. Teil 3: Langerhans-Inseln 105
- Walz, B., Hausmann, K.:** *Zoothamnium pelagicum*: Ein sessiler, kolonialer Ciliat lebt vereint zu Gruppen 217
- Zaiß, T., Hasenpusch, W.:** Maritime Bionik: Schlangensterne. Teil 1: Mundwerkzeuge und Stacheln 357
- Ziegler, A., Angenstein, F.:** Analyse von Seeigeln (Echinoidea) mit Hilfe der bildgebenden Magnetresonanztomographie 49
- Zöller, L., Michel, R.:** Beobachtungen zum Beutefangverhalten verschiedener amöbophager Pilze der Gattung *Acaulopage* (Zoopagaceae) 151

### Kurze Mitteilungen

- Linskens, H. F.:** Auch Bakterien haben ein Zytoskelett 2
- Linskens, H. F.:** Algizide aus Seegrass 6
- Linskens, H. F.:** Chemische Skalpelle 81
- Linskens, H. F.:** Samenwand und Aromabildung der Kakao-Bohne 103
- Linskens, H. F.:** Riboswitche 156
- Linskens, H. F.:** Archaea in den Meeren 166
- Linskens, H. F.:** Genom in Bakteriomen 172
- Linskens, H. F.:** Thyllen des Holzparenchyms 190
- Linskens, H. F.:** Stärkekorn-Struktur 348
- Linskens, H. F.:** Die unsterblichen HeLa-Zellen 356
- Rodegro, M.:** Maschinelles Spülen von Objektträgern 366

## Sachregister

- Abbe, Ernst 161  
 Abbe'sches Auflösungslimit 100  
*Abies* 328  
 Abortivum 201  
*Acanthamoeba castellanii* 153  
 Acari 87  
*Acaulopage*  
   – *dichotoma* 152  
   – *gompboclada* 152  
   – *lasiospora* 151  
 Acidophilie 129  
 Acker-Gauchheil 22  
 Ackerschmalwand 367  
*Actinosphaerium eichhornii* 302  
 Adaptationsmöglichkeiten 174  
 Adhäsionskraft 379  
*Agrimonia eupatoria* 19  
*Agrobacterium tumefaciens* 374  
 Air-lift Pumpe 215  
 Akal 210  
*Albertia* 267  
 Aleuronkörner 239  
 Aleuronschicht 239  
 Algizide 6  
*Allium*  
   – *cepa* 368  
   – *porrum* 371  
 Almrausch 198  
 Aloe 373  
*Aloe jucunda* 373  
 Alpenrose, Rostblättrige 198  
 Ambulacalfüßchen 360  
*Ammodiscus* 149  
 Amöbophage Pilze 151  
*Amoeba*  
   – *nobilis* 205  
   – *proteus* 205, 260  
   – *vespertilio* 205  
*Amoebophilus*  
   – *penardi* 205  
   – *simplex* 204  
 Ampfer 372  
*Amphizonella violacea* 129  
 Amylopektin 238, 348  
 Amyloplasten 238  
 Amylose 348  
*Anagallis arvensis* 22  
*Anarta cordigera* 195  
*Anchusa officinalis* 18  
*Ancistrocerus* 313  
*Andomeda polifolia* 197  
*Andrena* 314  
 Anemochorie 18  
 Annelida 87  
 Ansalbung 200  
 Antheren 193  
 Antherenhaare 371  
*Anthidium* 314  
*Anthurium andreaeanum* 245  
 Antipoden 368  
*Antirrhinum* 373  
 Aphrodisiakum 167  
 Apoptose 373  
 Aquariummikroskopie 301  
 Aquifer 209  
 Aquifuge 209  
*Arabidopsis thaliana* 367  
*Arachnula* 270  
*Arcella mitrata* 133  
 Archaea 166  
*Argyranthemum* 373  
*Aristolochia*  
   – *littoralis* 250  
   – *maxima* 251  
 Aristoteles, Laterne des 49  
 Aromabildung 103  
 Aronstab 35, 65, 373  
*Arthrobotrys*  
   – *dactyloides* 233  
   – *gracilis* 233  
 Arthropoden 83  
*Arum maculatum* 35, 65, 370  
*Ascomorphella volvocicola* 267  
 Asseln 83  
 Assimilationsstärke 241  
*Asterococcus* 132  
 Astrablau-Safranin-Färbung 164  
 Äthylen 375  
 Atrichoblasten 372  
*Attheyella crassa* 86  
 Auffangtrichter nach Husmann  
   215  
 Auflösungslimit, Abbe'sches 100  
 Auflösungsverfahren 50  
 Ausschlämmen 215  
 Aussieben 211  
 Austrocknungsstreuer 21  
 Automatisierung 137  
  
*Bacillus subtilis* 156  
 Bakterien 2  
 Bakteriensymbionten  
   – chemoautotrophe 220  
   – sulfidoxidierende 220  
 Bakterioeme 172  
 Bakteriozyte 172  
*Balatro* 267  
 Ballochorie 21  
 Bananenstärke 240  
 Bärtierchen 77  
 Bast 325  
 Bauchhärlinge 139  
 Bauchspeicheldrüse 105  
 Baum 325  
 Benthäl 139, 210  
 Benthos 210  
 Berserkerwut 202  
 Besenheide 197  
*Betula nana* 133  
 Beutefangprozess 152  
 Biedermeierkultur 161  
 Bienenwachs 249  
 Bildauswertungsverfahren 138  
 Bildgebende Verfahren 50  
 Biofilm 207, 378  
 Biologische Anstalt Plön 332  
*Biomyxa vagans* 268  
 Bionik, maritime 357  
 Biozönose 257, 329  
 Blastoderm 110  
 Blastula 110  
 Blattläuse 172, 249  
 Blattrippe 198  
 Blattschneiderbiene 314  
 Blattspreite 198  
 Blechzylinder nach Husmann  
   211  
*Blepharisma americanum* 41, 77,  
   302  
 Blitzlichtfotografie, digitale 349  
 Blitzlichtsteuerung 177  
 Blutzuckerspiegel 105  
 Bodengreifer  
   – nach Ekman-Birge 213  
   – nach Lenz 213  
 Bodenkriecher 22  
 Bohnenstärke 240  
 Bohnerwachs 249  
*Borago officinalis* 18  
 Borke 325  
 Borretsch 18  
 Borstenamöbe 204  
*Bosmina* 364  
 Bou-Rouch Pumpen Methode  
   215  
*Brachionus* 267  
 Brackwasser 208  
 Brassicaceen 371  
 Brauerkraut 193  
 Brennhaare 371  
*Bresslauides australis* 25  
 Bridgekamas 111  
 Brombeerzipfelfalter 195  
 Bruckangerlau 201  
*Bryocamptus*  
   – *minutus* 76, 86  
   – *pygmaeus* 86  
   – *typhlops* 87  
   – *weberi* 87  
*Bryonia dioica* 55  
 Bryozoen 32, 148  
 Bubble & Blot-Technik nach  
   Higgins 215  
 Bucain 141  
*Buchnera aphidicola* 172  
 Bupivacainhydrochlorid 141  
 Bursa copulatrix 184

- Calciumoxalat 328  
*Calendula officinalis* 21  
*Callitriche* 139, 263  
*Callophrys rubi* 195  
*Calluna vulgaris* 38, 197  
*Calopteryx maculata* 183  
 Calorigene 66  
*Candona candida* 159  
 Carapax 157  
 Carnaubapalme 249  
 Carnivorie 35  
*Carsonella* 172  
*Catharia* 275  
 Caudalcirren 304  
*Caulobacter crescentus* 378  
 CDK 375  
*Centaurea* 340  
   – *cyanus* 22  
*Centropyxis aculeata* 133  
*Cephalodella* 76, 263  
   – *parasitica* 267  
*Ceratophyllum* 139, 263  
*Cerceris*  
   – *arenaria* 313  
   – *rybiensis* 313  
*Ceropegia woodii* 65  
*Chaetoceros*  
   – *dadayi* 345  
   – *peruvianus* 346  
   – *tetrastichon* 345  
*Chaetonotus maximus* 139  
 Chappius-Grabung 211  
*Chelidonium majus* 18  
*Chilodonella caudata* 306  
*Chlamydomyxa labyrinthuloides*  
   270  
 Chloroplasten 238  
 Christuspalme 239  
 Chromoplasten 238  
*Chroococcus* 132  
*Cichorium intybus* 20  
 Giliaten 25, 217, 345  
   –, peritriche 32  
 Ciliosporen 221  
*Cinera cedri* 172  
*Cladophora* 318  
*Closterium sublaterale* 3  
 Cnidaria 212, 324, 345  
 Cnidocyten 323  
*Cochlonema euryblastum* 154  
 Coelenterata 110  
*Coelliccia membranipes* 184  
*Colias palaeno* 195  
 Collembola 87  
 Cölome 110  
*Colpidium* 26  
*Colpoda* 31  
*Colpodidium caudatum* 230  
 Consumer-Digitalkameras 111  
 Copepoden 76, 83  
*Cosmarium pseudamoenum* 133  
 Crassulaceen 251  
*Crissamphytil* 149  
*Cyclidium citrullus* 306  
 Cyclin 375  
*Cyclocypris laevis* 158  
*Cypricercus* 159  
*Cypridina* 157  
*Cypridopsis vidua* 158  
*Cyripedium* 36  
*Cypris pubera* 158  
*Cyprocercus* 158  
 Cysten 25, 134, 268  
 Cytokinese 367  
 Cytoskelett 271  
  
*Dactylaria gracilis* 233  
*Daphnia* 336  
 DAPI 369  
*Darwinula stevensoni* 159  
*Dasydytes*  
   – *ornatus* 143  
   – *tongiorgii* 143  
 Dasydytidae 139  
*Daucus carota* 19  
 Dauercyste 273  
 Dauerei 189  
 Dauerpräparate 332  
 Demonstrationsmikroskop 296  
*Dermamoeba* 153  
*Derocheilocaris typica* 212  
 Desmidiaceen 3, 129  
 Deutsche Mikrobiologische Gesell-  
   schaft 150  
 Dia 308  
 Diabetes mellitus 105  
*Diacyclops*  
   – *bisetosus* 91  
   – *crassicaudis* 87  
 Diasporen 18  
 Diastase 239  
 Diatomeen 7, 46, 345  
 Dichogamie 194  
*Dictyostelium discoideum* 153  
 Differenzierungspotential 367  
*Diffflugia* 132  
 Digitale Lichtbox 308  
 Digitalisieren von Dias 308  
*Dinobryon* 133  
 Dinoflagellaten 345  
*Dionaea muscipula* 36  
*Dipsacus fullonum* 20  
*Docidium undulatum* 133  
 Dohrn, Anton 337  
 Dohse, K. 336  
 Douglastanne 327  
 Dredge 211  
*Drilophaga bucephalus* 263  
*Drosera* 36  
   – *rotundifolia* 38, 133  
 Drüsen  
   – akzessorische 283  
   – exokrine 106  
 Drüsenschuppen 169  
 Drüsenzellen 286  
 Duftdrüse 65  
 Dunkelfeld 189  
  
*Echeveria laui* 251  
*Echinocyamus scaber* 49  
 Echinodermata 49, 357  
 Echinoidea 49  
 Ektoderm 110  
 Elaioplasten 238  
 Elaiosomen 18, 371  
*Elaphoidella gracilis* 87  
 Elektronenblitz-Fotografie 173  
 Elektronenmikroskopie 281  
*Elodea* 6  
*Empetrum nigrum* 197  
 Enchytraeiden 87  
 Endochorie 18  
 Endomitose 367  
 Endoreduplikation 367  
 Endosperm 239  
 Endospermhaustorien 368  
 Endospermzellen 371  
 Entoderm 110  
*Epactophanes richardi* 86  
 Ehippium 189  
 Elichorie 18  
 Epidermiszellen 371  
 Epipsammon 210  
 Epitheton 346  
*Epsilonema* 212  
 Erbsenstärke 240  
 Erdöl 249  
 Erdwachse 249  
*Erica*  
   – *carnea* 197  
   – *tetralix* 197  
 Ericaceae 193  
*Eriophorum angustifolium* 133  
*Eryngium campestre* 22  
*Euastrum denticulatum* 133  
*Eucypris*  
   – *acuminata* 159  
   – *virens* 158  
 Eugleniden 364  
*Euglypha laevis* 279  
 Euglyphen 133  
 Eukrenal 210  
 Eulimnopsammal 210  
 Eulitoral 210  
*Eumenes* 313  
*Euphorbia cyparissias* 241  
 Euphorbienstärke 240  
*Euplotes*  
   – *muscicola* 304  
   – *patella* 304

- Eutintinnus*  
 – *inquilinus* 345  
 – *lusus undae* 346  
 Evolutionslehre 295  
 Excystierung 29  
 Exine 194  
 Exkursionsmikroskope 59  
 Experimentierkästen 331  
 Expositionsgefäße 213  
 Extraktion 213  
 Fadenblualgen 257  
 Fadenwürmer 75, 83, 87  
 Fahrenkemper, Claudia 43  
 Fangringe 233  
 Fangtrichter nach Noll 215  
 Fauna  
 – *hygropetrica* 210  
 – *hyporheische* 211  
 Federsterne 357  
 Fernrohr, offenes 332  
 Fettgewebe 331  
 Fettkraut, Großblütiges 38  
 Feulgen-Reaktion 369  
 Fichte 327  
*Ficus benjamina* 251  
 Filterglas 215  
 Filz-Ziest 315  
 Flamingoblume 245  
 Fliegenkopf 45  
 Flockenblume 340  
 Flora *hygropetrica* 210  
*Floscularia* 263  
 Foraminiferen 46, 148, 212  
 Fotokünstlerin 43  
 Fototechnik, digitale 101  
 Franke-Zellen 321  
 Frauenschuh 36  
 Fremdbestäubung 194  
*Fronicularia* 149  
 Froschbissgewächs 372  
 Froschlarve 46  
 Froschlöffel 372  
 Früchte 18  
 Frühholz 326  
*Frullania* 37  
 Fühltüpfel 55  
*Funaria hygrometrica* 374  
 Furchenbienen 314  
 Fuß 355  
  
*Galium aparine* 19  
 Gallen 371  
 Galthofmoor 201  
 Gametangien 37  
 Gartenringelblume 21  
*Gastrea* 109  
 Gastrotriche 139  
*Gastrula* 110  
 Geckofüße 380  
 Gefäßteil 326  
  
 Genitaloperculum 94  
*Genlisea* 41  
 Geotropismus 196  
*Geum urbanum* 19  
 Gewürzthymian 167  
 Gibberellin 375  
*Gigantocypris muelleri* 157  
 Gletscherfalter, Baltischer 195  
 Glockenheide 197  
 Glockentierchen 262, 345  
*Gloeocapsa compacta* 129  
 Glukagon 105  
 Glykogen 238  
 Gonaden 324  
 Grabwespe 313  
*Graeteriella unisetigera* 87  
 Grillen 281  
 Größenklassen Benthos 210  
 Großhirnrinde 331  
 Gruitbeere 202  
 Grünalgen 133, 241  
 Grundwasser 160, 207  
 –, fossiles 208  
 Grundwasserbiozönose 209  
 Grundwasserfauna 210  
 Grundwasserhorizont 209  
 Grundwasserleite 209  
 Grundwassermächtigkeit 208  
 Grundwassermessstelle 208  
 Grundwasseroberfläche 208  
 Grundwasserorganismen 210  
 Grundwasserspeicher 208  
 Grundwasserspiegel 208  
 Grundwasserstand 208  
 Grundwasserstrom 209  
 Grundwasserträger 209  
*Gryllus*  
 – *assimilis* 282  
 – *bimaculatus* 282  
 Gymnasien 329  
*Gymnodinium*-Cysten 189  
 Gynoeceum 193  
  
 Haarblume 55  
 Hafer 239  
 Haftscheibe 378  
 Haftwasser 208  
*Halictus* 313  
 Halo 223  
 Harpacticoida 83, 212  
*Hartmanella vermiformis* 153  
 Harzgänge 328  
 Haustorien 151  
 Haut 331  
 Heidekraut 38  
 Heidelbeere 197  
 Heiligensee 364  
 Helokrene 209  
 Hemipelagisch 139  
 Herba thymiana 167  
  
*Herpetocypris* 159  
 Herzblatteule 195  
*Hesperis matronalis* 369  
*Heterocypris* 158  
 Heterokarpe 21  
*Heterolepidoderma* 139  
 Hiddensee 32  
 Hirsemehl 240  
 Hirsstärke 240  
 Hochmoore 129  
 Hoftüpfel 199, 328  
 Holz 325  
 Holzparenchym 190  
 Holzteil 326  
 Hornkraut 139  
 Hornmilbe 355  
 Huminsäuren 197  
 Hundertfüßer 83  
 Hungerbildung 197  
*Hyalosphenia papilio* 275  
*Hyalotheca dissilens* 189  
 Hydrobiologie 208  
 Hydrocharitaceae 372  
 Hydrogeologie 208  
 Hydrologie 208  
*Hydromystria stolonifera* 372  
 Hydrosphäre 207  
 Hygrolimnopsammal 210  
*Hypnum jutlandicum* 97  
 Hypokrenal 210  
 Hyporheal 211  
 Hyporheisch 211  
 Hyporheon 207  
  
*Ichthyidium* 139  
*Idiocnemis*  
 – *obliterata* 185  
 – *strumidens* 185  
*Iliocypris* 158  
 Infiltrationstheorie 208  
 Insektengentialien 186  
 Insektenorgan 281  
 Insulin 105  
 Internet, Mikrofotografie 248  
 Interstitial 160, 210  
 Interstitialwasser 210  
 Interstitium 207, 210  
 Intine 194  
  
 Jahresring 325  
 Jochalgen 241  
 Jod-Stärke-Reaktion 238  
 Käferfühler 45  
 Kakao  
 -Baum 103  
 -Bohne 103  
 Kambium 325  
 Kannenpflanzen 250  
 Kapillarwasser 208  
 Karde, Wilde 20

- Karstwasser 209  
 Karstwasserleiter 209  
 Kartoffel 239  
 Kartoffelstärke 239  
 Kauapparat 358  
 Keimdrüsen 324  
 Kernfärbung 369  
 Kesselfalle 65  
 Kiefer 327  
 Kiefernadel 164  
 Kienporst 193  
 Kieselalgen 32  
*Kijanebalola* 146  
 Kinetin 375  
 Kinorhyncha 212  
 Klausen 18  
 Klebkraft 378  
 Kleie 239  
 Kleinlibellen 183  
 Kletten-Kerbel 19  
 Kletten-Labkraut 19  
 Klettverbreitung 19  
 Klimaverschlechterung 213  
 Kluftwasser 209  
 Kluftwasserleiter 209  
 Knotenwespe 314  
 Kompaktkameras 111  
 Konidien 152  
 Königskerze 23  
 Koprolith 149  
 Kornblume 22  
 Korngrößenanalyse 211  
 Krähenbeere 197  
 Krauter, Dieter 232  
 Kreispräparate 9  
 Krenal 210  
 Krenon 210  
 Kreuzblüter 371  
 Kreuzspinne 355  
 Küchenzwiebel 368  
 Kulturtechnik 268  
 Kürbis 55
- Langerhans, Paul 105  
 Langerhans-Inseln 105  
 Lärche 327  
*Larix decidua* 328  
 Larmor-Frequenz 50  
 Laser Scanning Mikroskopie 137  
 Laterne des Aristoteles 49  
 Lebensgemeinschaft 257  
 Lebenszyklus 25  
 Leber 331  
 Lebermoos 35  
 LED 59  
 – Beleuchtung 316  
 – Mikroskop 377  
*Ledum palustre* 193  
 Lehmwespe 313  
 Lehrerfortbildung 329
- Leitbündel, kollaterales 198  
*Lemna* 140  
*Leptodora* 364  
*Leptomoxa reticulata* 270  
 Leuchtdioden 316  
 Leuchtqualle 321  
 Leuchtvermögen 324  
 Leukoplasten 238  
 Lichtbox, digitale 101, 308  
 Lichtmikroskopie 137  
 Ligula 183  
*Limnias* 263  
*Linnobium stoloniferum* 372  
 Limnokrene 209  
 Limnopsammal 210  
 Linsenstärke 240  
 Linskens, Hansferdinand 344  
 Litoral 210  
 Lockergestein 208  
*Longicauda* 205  
 Loricifera 212  
 Lotus-Effekt 250  
 Löwenmäulchen 373  
*Loxophyllum meleagris* 306  
 Lückenepidermis 65  
 Lugo'sche Lösung 240  
*Lumbricaria* 149  
*Lumbriculus variegatus* 263  
 Lunge 331  
 Lupenfotos 339  
 Lysin 156  
 Lysozym 380
- Magnetresonanztomographie 49  
 Mais 239, 249  
 Makrogamonten 221  
 Makrophyten 263  
 Makrozoide 219  
 Maltos 239  
 Malvengewächs 340  
 Mannstreu 22  
*Maraenobiotus vejdoskyi* 86  
 Markstrahlen 325  
 Mauerpfeffer 22  
 Mausembryo 122  
*Mayorella* 204  
 Mechanosensoren 55  
 Medusen 321, 345  
*Megachile* 314  
 Meiobenthologie 210  
 Meiobenthos 210  
 Meiofauna 207, 210  
 Meiofauna-Dredge 211  
*Mesocnemis singularis* 184  
 Mesoderm 110  
 Mesofauna 210  
 Mesopsammal 210  
 Mesopsammal 207, 210  
*Metacypris* 158
- Micrasterias*  
 – *crux-melitensis* 133  
 – *truncata* 189  
*Micrococcus* 331  
*Microcystis aeruginosa* 6  
*Microcythere minuta* 157  
 Mikrobiologische Vereinigung  
 München 150  
 Mikrofauna 207  
 Mikrofossilien 147  
 Mikrofotografie 248  
 –, digitale 111, 173  
 Mikroskop 136  
 Mikroskopie 291  
 –, Schule 329  
 Mikroskoptypen 297, 330  
 Mikrotom, Bauplan 242  
 Mikrozoide 219  
 Milben 77, 83, 87, 252  
 Milchröhren 367  
 Möbius, Karl August 329  
 Möhre, Wilde 19  
 Molchlarve 46  
 Möller, Johann Diedrich 7  
 Mollicuten 2  
 Mollusken 212  
*Monacrosporium cionopagum*  
 233  
 Moor, Schönauer 201  
 Moorgelbling 195  
 Moorlilie 38  
 Moorporst 193  
 Moor-Rauschbeere 197  
 Moorrosmarin 193  
 Moor-Trunkelbeere 197  
 Moos 35  
 Moosbeere 197  
 Moostierchen 81  
*Moraria*  
 – *brevipes* 87  
 – *poppei* 86  
 – *varica* 86  
 Morphologie 281  
 Morula 110  
 Mottenkraut 193  
*Mougeotia* 189, 241  
 Mundschleimhaut 227  
 Mundwerkzeuge 357  
 Muschelkrebs 157  
*Mycoplasma pneumoniae* 2  
*Myriophyllum* 139, 263  
 Myrmekochorie 18  
 Mystacocarida 212  
*Mytilina* 263
- Nachruf 232, 344  
 Nachtviole 371  
 Nadelhölzer 325  
*Naegleria clarki* 153  
*Nannocandona* 157

- Narthecium ossifragum* 38  
 Natriumchlorid 47  
 Nauplie 212  
 Nelkenwurz, Echte 19  
 Nematocyten 323  
 Nematoda 76, 87  
*Neogosseia voighti* 141  
 Neogosseidae 139  
 Neoliodidae 355  
*Nepenthes* 36, 250  
 Nesseltiere 324, 345  
 Nesselzellen 323  
*Neritium digitus* 129  
 Netzhaut 122  
 Neuhumanismus 293  
 Niederungswälder 83  
 Niere 331  
*Nitocra* 87  
*Noctiluca miliaris* 381  
*Notodromas monacha* 158  
*Notohymena australis* 304  
*Notommatia* 263  
 Nusplinger Plattenkalk 147  
 Nutation 196
- Objektträger, fettfreie 366  
 Ochrea 371  
 Ochsenzunge, Gemeine 18  
 Odermennig, Gemeiner 19  
 Odonata 183  
*Oeneis jutta* 195  
 Öl, ätherisches 171  
 Oligochaeten 263  
 Oligohymenophorea 217  
 Ölkörper 19  
*Ophiocoma scolopendrina* 357  
*Ophiura albia* 357  
 Organismen, interstitielle 210  
*Ornamentula* 146  
 Orthoptera 281  
*Oscillatoria* 257  
 Osmophor 65  
 Ostrakoden 157  
*Otiorrhynchus* 314  
*Ouramoeba*  
 – *botulicauda* 204  
 – *vorax* 204  
 Oxalatdrusen 198  
 Oxalatkristalle 198  
*Oxalis* 21
- Paarungsrad 183  
*Pachyphytum oviferum* 252  
*Pachypsella venusta* 172  
 Palintomie 25  
 Pankreas 105  
 Panzergeißler 345  
*Paracyclops* 212  
 – *fimbriatus* 86  
 Paraffine 249
- Paramecium*  
 – *aurelia* 306  
 – *caudatum* 41  
*Paraurostyla weissei* 304  
 Peinomorphose 197  
*Pelagia noctiluca* 321  
 Pelawachs 249  
*Penardia mutabilis* 270  
 Penis, sekundärer 183  
 Perikarp 71  
 Peritriche 217  
*Petunia* 373  
 Pferdebohne 374  
 Pflanzen, bedecktsamige 18  
 Pflanzensamen 46  
 Pflasterzellen 369  
*Phacus* 364  
 Phasenkontrast 223  
*Phaseolus* 376  
*Phyllobacterium* 233  
*Phyllobius* 314  
*Phyllognathopus viguieri* 83, 86  
 Phytal 263  
 Phytohormone 66  
*Picea abies* 328  
 Pillenwespe 313  
 Pilze  
 –, amöbophage 151  
 –, nematophage 233  
*Pinguicula grandiflora* 38  
*Pinus*  
 – *cembra* 328  
 – *nigra* 164  
 – *sylvestris* 328  
 Planktonforschung 332  
 Planktonwochenende 364  
*Plantago maior* 334  
 Plasmodium 268  
 Plasmotomie 269  
 Plattenkalk, Nusplinger 147  
*Platycypris* 157  
*Pleurotrocha* 267  
*Pleurozia*  
 – *cochleariforme* 38  
 – *purpurea* 35, 75  
 Plössl, Simon 161  
 Plössl-Mikroskope 161  
*Plumatella repens* 81  
 Pollenvierlinge 194  
 Polychaeta 212  
 Polyenergide Zellen 367  
 Polygamie 183  
 Polypen 32  
 Polytänie 368  
*Pontocypris* 157  
 Porensysteme 207  
 Porenvolumen 208  
 Porenwasser 208  
 Porenwasserleiter 209  
 Porenwinkelwasser 208
- Porifera 110  
 Porree 368  
 Porst 193  
 Postbier 202  
 Präparationsmikroskop 299  
 Preiselbeere 197  
*Proales* 267  
 Pröbeln 161  
 Proplastiden 238  
 Proteinoplasten 238  
 Protonema 374  
 Psammal 210  
*Psammechinus miliaris* 51  
 Psammit 208  
 Psammon 210  
 Psephit 208  
*Pseudanthium* 21  
*Pseudoplatyophrya nana* 31  
 Pseudostom 133  
*Pseudotsuga*  
 – *menzesii* 250  
 – *taxifolia* 328  
*Psychoda phalaeonides* 66  
*Ptygura* 263  
 Pumpenmethode 215
- Quantifizierung 137  
 Quelle 209
- Rädertiere 76, 133, 263  
 Radiärsymmetrie, fünfstrahlige 358  
 Radiolarien 46, 148, 248  
 Ranken 55  
 Raphidenidioblasten 373  
 Raphidenzellen 69  
 Rasterkraft-Mikroskop 138  
 Realschulen 329  
 Regenschwemmlinge 21  
 Reis 239  
 Reisemikroskope 59, 321  
 Relief-Phasenkontrast 223  
 Reproduktionszyste 25  
 Reservekohlenhydrat 348  
 Reservestärke 238  
 Restitutionskerne 368  
*Reticulomyxa filosa* 270  
 Retrocerebralarorgan 266  
 Rheokrene 209  
 Rhizodermis 372  
 Rhododendron 341  
*Rhododendron*  
 – *ferrugineum* 198  
 – *tomentosum* 193  
*Rhoeo discolor* 342  
 Rhopalium 323  
*Rhynchospora alba* 133  
 Riboswitche 156  
*Ricinus communis* 239  
 Riesenchromosomen 368

- Riffdach-Schlangensterne 357  
 Rinde 325  
 Ringelwürmer 83  
 Roggen 239  
 Rohhumuswurzler 200  
 Rohr Sampler 213  
 Röhrenknochen 331  
 Rollblatt 196  
*Roridula* 36  
 Rosen 341  
 Rosmarin, Wilder 193  
 Rotalgen 32  
 Rottalmoos 193  
 Rückenmark 331  
 Ruderfußkrebse 76, 83  
 Ruhecysten 134  
*Rumex crispus* 371  
 Rüsselkäfer 314  
 Rüsselkrebse 364  
  
*Saccamoeba*  
 – *limax* 154  
 – *simplex* 153  
*Saccharomyces niger* 331  
 Saftdruckstreuer 21  
 Salamander 369  
 Salizylsäure 66  
 Salonpräparate 11  
 Salzwasser 208  
 Samen 18  
 Samenkeimung 239  
 Samenwand 103  
 Sandbiene 314  
 Sand-Knotenwespe 313  
 Sandlückenfauna 210  
 Sandlückensystem 139, 210  
 Sandröhren 213  
*Sappinia diploidea* 153  
*Saprolegnia* 367  
*Sarracenia purpurea* 36  
 Sauerklee 21  
*Sauromatum guttatum* 66  
 Schalenamöbe 275  
 Schaufelradbagger 44  
 Schaufelsammler 211  
*Scheuchzeria palustris* 133  
 Schildläuse 249  
 Schlagrohr 213  
 Schlämmen 215  
 Schlangensterne 357  
 Schleimhülle 131  
 Schließzellen 369  
 Schmuckginster 246  
 Schneeheide 197  
 Schnitt, Goldener 358  
 Schokolade 103  
 Schöllkraut 18  
 Schraubenalgen 262  
 Schraubentracheiden 328  
 Schulmikroskopie 291, 329  
  
 Schultypen 330  
 Schwammmethode 213  
 Schwammnadeln 148  
 Schwarzbeere 197  
 Schwarzes Moos 193  
 Schweresinnesorgan 323  
*Scilla bifolia* 371  
*Scirpus sylvaticus* 88  
 Scyphozoen 324  
 Sedimentgestein 208  
 Sedimentkern-Gefriermethode 213  
 Sediment-Stechrohr 213  
*Sedum acre* 22  
 Seegrass 6, 32  
 Seeigel 49, 357  
 Seeigelskelett 122  
 Seesterne 357  
 Seewalzen 357  
 Selbstreinigungskraft 207  
 Selbstverbreitung 18  
*Serratia* 172  
*Setodytes tongiorgii* 143  
 Shovel sampler 211  
 Sickerquelle 209  
 Sickerwasser 209  
 Siebsatz 211  
 Silberliniensystem 304  
 Skalpelle, chemische 81  
 Slave-Blitzgerät 353  
*Solanum lycopersicum* 373  
 Solarstromversorgung 377  
 Somatostatin 108  
 Sonnenblume, 239  
 Sonnenmikroskop 299  
 Sonnentau, Rundblättriger 38  
 Sortine 82  
 Spadix 66  
 Spadix-Appendix 373  
 Spaltenwasser 209  
 Spasmonem 221  
 Spatha 65  
 Spätholz 326  
 Speichergewebe, parenchymatisches 328  
 Spermathek 184  
 Spermatocyten 323  
 Spermatophore 88  
 Spermienkonkurrenz 183  
*Sperosoma giganteum* 49  
 Sphagnen 129  
*Sphagnum* 38, 78, 189, 275  
 Spiegelreflex-Kamera, digitale 174  
 Spirillen 272  
 Spirochaeten 272  
*Spirogyra* 262  
*Spiroplasma melliferum* 2  
*Spirostomum*  
 – *minus* 302  
  
 – *teres* 302  
 Springschwänze 83, 87  
 Spritzzone 210  
 Spülkasten 366  
 Stachelhäuter 357  
 Stacheln 357  
*Stachys byzantina* 315  
 Stärkaufbau 239  
 Stärkeabbau 239  
 Stärkekörner 238, 348  
*Staurastrum scabrum* 133  
*Staurodesmus spencerianus* 133  
 STED-Mikroskopie 100  
 Stemi-Gleittisch 189  
*Stentor* 260  
 Stereomikroskop 188, 316  
 Stereo-Zoom-Mikroskop 349  
 Stiefmütterchen 373  
 Stoltz, Lehrer 334  
 Strandseeigel 51  
 Strudelwürmer 75  
 Stubenfliege 355  
 Sturzquelle 209  
 Stygal 209  
 Stygobionten 210  
 Stygofauna 210  
 Stygon 209  
 Stygophile 210  
 Stygopsammal 210  
*Stylochaeta scirtetica* 144  
 Sublitoral 210  
 Sukzession 257  
 Sumpfporst 193  
 Sumpfwasser 209  
 Sumpffrosch 197  
 Supralitoral 210  
 Suspensor 368  
 Süßwasser 208  
 Süßwassergastrotriche 139  
 Synergiden 368  
  
 Tanne 327  
 Tannenporst 193  
 Tapetumzellen 371  
 Tardigrada 212  
 Tartonnement 161  
 Taschenmikroskop 161  
 Täuschfrüchte 21  
 Tausendblatt 139  
 Teilungsrate 134  
 Teilzahlung, Mikroskop 136  
*Telekia speciosa* 314  
 Telotroch 221  
 Terminalzoide 219  
*Terrestrialitythere* 158  
 Tessoar 312, 339  
 Testaceen 134  
*Tetranchyroderma* 142  
 Textularia-Typ 149  
*Thalassomyxa australis* 270

- Thaumastoderma* 142  
*Thaumatagrion funereum* 186  
*Thecamoeba quadrilineata* 152  
*Thecamoeba striata* 151  
*Thecamoeba terricola* 153  
 Thekamöbe 129  
*Theobroma cacao* 103  
 Thermogenese 67  
 Thyllen 190  
 Thymian, Echter 167  
*Thymus*  
   – *pulegioides* 168  
   – *serpyllum* 168  
   – *vulgaris* 167  
 Tiefenwässer 208  
 Tierstreuer 18  
 Tierverbreitung 18  
 Tinopal 57  
 Tintinniden 345  
 Tomate 372  
 Tomit 25  
 Torfmoose 38, 129  
*Torilis japonica* 19  
*Torrenticnemis filicornis* 185  
 Tracheen 325  
 Tracheiden 325  
*Tradescantia* 375  
*Trianaea bogotensis* 372  
*Trichamoeba sinuosa* 205  
 Trichoblasten 372  
*Trichocerca* 263  
*Trichophorum caespitosum* 133  
*Trichosanthes* 55  
*Trinema complanatum* 279  
 Trockenanpassung 197  
 Troglobionten 210  
 Troglobios 210  
 Trompetentierchen 260  
 Trophont 25  
 TTL-Blitzlichtsteuerung, automatische 179  
 Tümpelquelle 209  
 Typenplatten 7  
  
 Überdauerungscyste 25  
 Überdauerungsstrategie 94  
  
 Ufergrabung 211  
 Uhlig-Extraktor 213  
 Ultrastruktur 281  
 Umsatzwässer 208  
*Uroglena* 267  
*Urostyla grandis* 305  
*Utricularia* 38  
*Vaccinium*  
   – *myrtilus* 197  
   – *oxycoccus* 197  
   – *uliginosum* 197  
   – *vitis-idaea* 197  
*Vacilla* 373  
 Vakuole, pulsierende 130  
*Vallisneria* 6  
*Vanella*  
   – *miroides* 153  
   – *simplex* 153  
 Variabilität 275  
*Vaucheria* 267, 367  
 Venus-Fliegenfalle 36  
*Verbascum densiflorum* 23  
 Verbreitungseinrichtungen 18  
 Verschiedenfrüchtigkeit 21  
 Vibrationsmikrotom 242  
*Vicia faba* 374  
*Vitis vinifera* 190  
*Volvox* 364  
   – *aureus* 267  
   – *globator* 267  
*Vorticella* 364  
   – *campanula* 306  
 Voß, Wilhelm 330  
  
 Wachdrüse 251  
 Wachse 249  
   –, epicuticuläre 250  
 Wachspalme 249  
 Wachstumskrümmung 196  
 Wanzenkraut 193  
 Warmwasseraquarium 301  
 Wasserfloh 189  
 Wasserlinsen 140  
 Wasserpest 6  
 Wasserqualität 258  
 Wassersäcke 35  
  
 Wasserschlauch 38  
 Wasserschraube 6  
 Wasserstauer 209  
 Wasserstern 139  
 Wasserströmung 378  
 Wasserverbreitung 18  
 Wegerich 334  
 Wegwarte 20  
 Weinrebe 190  
 Weizen 239  
 Wiesenklatschmohnsamen 46  
*Willaertia magna* 153  
 Wollbiene 314  
 Wunderbaum 239  
  
 Xeromorphosen 197  
 Xerophyten 197  
 Xylem 326  
  
 Zacharias, Otto 336  
 Zaurrübe 55  
 Zeichnung 281  
 Zeiss, Carl 161  
 Zellteilung 367  
 Zelltod, programmierter 373  
 Zellzyklus 367  
 Zerstäubungsstadium 367  
 Zerpupfungspräparate 105  
 Zieralge 3  
 Zirbelkiefer 327  
 Zirkelmikroskop 161  
*Zonomyxa violacea* 135  
 Zoochorie 18  
 Zoopagaceae 151  
 Zoophagie 35, 75  
*Zoothamnium*  
   – *niveum* 220  
   – *pelagicum* 217  
 Zuckerrohr 249  
 Zuckmücke 122  
 Zugkraft 379  
 Zugscherfestigkeit 380  
 Zygotera 183  
 Zytoskelett 2

(bis zu 8 Stück) mit einem Adapterring um das Kameraobjektiv positioniert werden. Weiters können die Blitzgeräte jeweils auf einen im Set befindlichen Standfuß aufgesteckt und um das zu fotografierende Objekt aufgestellt werden. Die Leitzahl des Blitzgerätes beträgt 10 bei ISO 100. Ausgelöst werden die Blitze durch die auf dem Blitzschuh der DSLR aufgesetzte Infrarot-Blitzsteuerungseinheit SU-800 (Abb. 6).

### **Halterung für Slave-Blitzgerät SB-R200**

Im Makroblitz R1C1 ist für jeden Blitzkopf ein Standfuß, auf den dieser aufgeschoben wird. Mit dieser Befestigung kann der Blitzkopf sicher hingestellt, nach oben und unten geschwenkt, aber nicht individuell in einem weiten Bereich räumlich bewegt werden. Um dies zu ermöglichen, wird der Blitzkopf auf einen Adapter, der auch ein M6-Gewinde hat, gesteckt. In das Gewinde des Adapters passt die Schraube des fixierbaren Gelenkarmes, der auf der anderen Seite auf eine schwerere Metallplatte geschraubt wird, um die Standfestigkeit zu gewährleisten (Abb. 7), oder an ein an das Mikroskop geschraubtes spezielles Metallplättchen. Die DX-Zwischenoptik, der Fußschalter und die diversen Adaptionen sind bei der Firma Optoteam ([www.optoteam.at](http://www.optoteam.at)) erhältlich.

### **Einstelllicht**

Damit das Objekt betrachtet werden kann, muss es beleuchtet werden. Es gibt dafür die verschie-

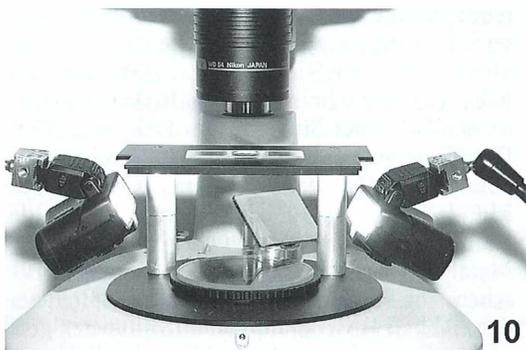
densten Möglichkeiten, angefangen von einer Schreibtischhalogenlampe bis zu professionellen Angeboten mit Glasfaserlichtleiter. Sehr zweckmäßig ist die LED-Stirnlampe TX1 von der Firma Lucido ([www.lucido.de](http://www.lucido.de)). Sie wird mit drei Batterien vom Typ AA gespeist, erzeugt ein helles, kaltes und über mehrere Stunden anhaltendes Licht, das sogar für fotografische Aufnahmen ausreichend ist und vom automatischen Weißabgleich der DSLR gut korrigiert wird. Der Reflektor der Lampe kann leicht nach oben und unten geschwenkt werden. Da die Leuchte mit Batterien betrieben wird, kann mit ihr vom Stromnetz unabhängig gearbeitet werden (Abb. 8).

### **Kameraauslösung mit Fußschalter**

Die Auslösung der DSLR mittels Fußschalter bietet die Möglichkeit, die Hände für Fokussierung und Nachführung der sich bewegenden Objekte frei zu haben. Ist der im Bild gewünschte Bereich scharf fokussiert und richtig platziert, wird durch Betätigung des Fußschalters ausgelöst (Abb. 9).

### **Dunkelfeldaufsatz**

Mit dem in Abbildung 10 gezeigten Dunkelfeldaufsatz lassen sich auch Fotos von sich bewegenden Lebewesen mit Blitzlichteinsatz in Dunkelfeldaufnahmetechnik machen, in dem das Objekt von schräg unten angeblitzt wird. Wird unter die Öffnung des Aufsatzes ein 45° schräg gestellter Spiegel positioniert und Blitz-



**Abb. 10:** Dunkelfeldaufsatz der Firma Optoteam. Die Abbildung zeigt auch den, allerdings sich nicht im Aufnahmeeinsatz befindenden 45° schräg gestellten, teildurchlässigen Spiegel. Er ist auf die 45-gradige Schnittstelle eines Metallrohres geklebt. – **Abb. 11:** Beispielhaft fünf verschiedene Aufnahmebehälter. Auf dem linken liegt ein UV-Filter.

licht auf diesen gerichtet, kann in Durchlichttechnik geblitzt werden. Zur Beobachtung kann das Einstelllicht auf den Spiegel gerichtet werden. Das Mikroskop in der Abbildung ist mit einem Durchlichtstativ ausgerüstet, sodass bei einem halbdurchlässigen Spiegel auf diese Weise Objekte beobachtet und mit Blitz über die Spiegelreflexion aufgenommen werden können (Abb. 10).

### **Aufnahmebehälter für Kleinlebewesen**

Um sich bewegende Lebewesen fotografieren zu können, müssen sie gefangen gehalten werden. Bei kleineren Lebewesen ist das mit Objektträgern möglich, bei größeren in den in Abbildung 11 gezeigten Behältern. Diese sind aus Acrylglas, mit verschiedenen Durchmessern und Höhen und mit einem Zweikomponentenkleber auf eine Glasplatte geklebt. Bei exakter Klebung sind sie auch wasserdicht. Als Abdeckung bewähren sich UV-Filter verschiedener Größe, die für fotografische Objektive vorgesehen sind. Da sie bereits einen über die Glasfläche vorstehenden Metallring haben, schützt dieser vor unbeabsichtigtem Verrutschen. Wird ein Aufnahmebehälter einlagig mit einem Transparentpapier umwickelt und dann seitlich angeblitzt, entsteht wie in einem Lichtzelt eine sehr gleichmäßige, weiche Ausleuchtung des Objektes.

### **Vorteile der Mikroskopfotografie**

Die Anfertigung von Makro- und Mikrofotografien mit einem Zoom-Mikroskop bringt gegenüber der herkömmlichen Aufnahmetechnik mit Repröstanänder und Balgengerät mehrere unschätzbare Vorteile.

Die Fokussierung ist schnell erreicht, und die Einstellung bleibt erhalten, denn wird mit einem Balgengerät die Bildschärfe eingestellt, so macht sich vor allem bei höheren Abbildungsmaßstäben eine Schärfenebenenverstellung bemerkbar, wenn die Fixierschraube des Balgens oder die des Repröstanänders festgezogen wird.

Durch die Möglichkeit des Zoomens kann der gewünschte Bildausschnitt schnell festgelegt werden. Auch hier ist die Arbeit mit einem Balgen viel mühseliger.

Wenn notwendig, kann der Abbildungsmaßstab schnell festgehalten werden. Er ist abhän-

gig von der verwendeten Optik und dem Zoomfaktor und kann in einer Tabelle abgelesen werden. Mit Hilfe einer Strichplatte im rechten Okular können auch Größenabmessungen von Objekten in einer Tabelle abgelesen werden.

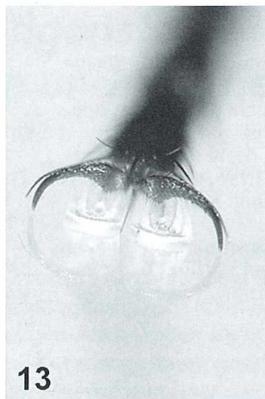
Wenn sich bewegende Objekte in einem Aufnahmebehälter befinden und fotografiert werden sollen, kann mit einer Hand der Behälter bewegt werden, um das Objekt im Bildausschnitt zu halten, und mit der anderen Hand kann am Mikroskop nachfokussiert werden. Ist eine gewünschte Position im Blickfeld, wird mit Hilfe eines Fußschalters die Kamera ausgelöst, und parallel dazu löst das Blitzgerät aus. Die Auslöseverzögerung ist von den Faktoren menschliche Reaktionszeit und Kameraauslöseverzögerung abhängig. Nicht immer entspricht der Erfolg der Erwartung. Es ist daher zweckmäßig mehrere Aufnahmen und diese mit angeschlossenem Computer zu machen, um das Ergebnis schon nach einigen Sekunden beurteilen zu können. Hier kommt auch der große Vorteil der Digitalfotografie zum Tragen, dass ohne auf Filmkosten achten zu müssen, viele Aufnahmen gemacht werden können.

### **Bildbeispiele und Aufnahmebeschreibungen**

Die Abbildungen 12 bis 17 sind Bildbeispiele von Blitzaufnahmen. Es wurde immer mit dem Fußschalter ausgelöst. Abbildung 12 zeigt eine Stubenfliege, die in einem Aufnahmebehälter mit UV-Filterabdeckung gefangen gehalten wird. Um eine weiche Beleuchtung zu erzielen, wurde um den Behälter einlagig ein Transparentpapier gelegt. Zwei Blitzgeräte SB-800 sind seitlich entgegengesetzt positioniert. Um die Fliege besser ins Blickfeld zu rücken, wird der Behälter leicht schräg gehalten. In Abbildung 13 ist der Fuß einer Stubenfliege stark vergrößert. Die Fliege sitzt am zylindrischen Teil des Aufnahmebehälters, der leicht schräg gehalten wird. Mit drei Blitzköpfen des Makroblitzes ist die Aufnahme weich ausgeleuchtet worden. Der Metallring des Filters verhindert dessen Abrutschen. Die Hornmilbe aus der Familie Eremaidae (Abb. 14) ist knapp einen Millimeter groß und bewegt sich verhältnismäßig schnell. Um ihren Aktionsradius einzugrenzen, befindet sich im Behälter ein aus Plastilin geformter Kegelstumpf und Wasser, welches bis knapp unter die kreisförmige Oberfläche des Kegelstumpfes



12



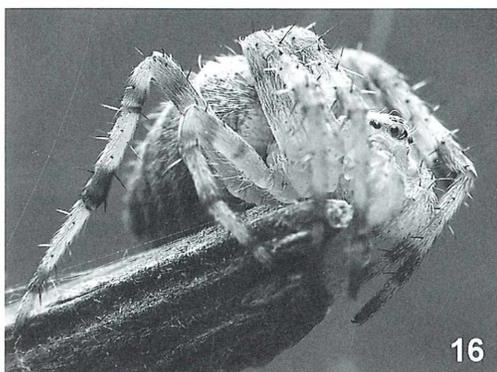
13



14



15



16



17

**Abb. 12: Stubenfliege, Objektiv P-HR Plan Apo 0,5x. – Abb. 13: Fuß einer Stubenfliege, Objektiv P-HR Plan Apo 1,6x. – Abb. 14: Hornmilbe aus der Familie Eremaeidae, Objektiv P-HR Plan Apo 1,6x. – Abb. 15: Hornmilbe aus der Familie Neoliodidae, Objektiv P-HR Plan Apo 1,6x. – Abb. 16: Kreuzspinne, Objektiv P-HR Plan Apo 1,0x. – Abb. 17: Fliegen verzehrende Kreuzspinne, Objektiv P-HR Plan Apo 1,0x. Weitere Angaben zur Blitzeinstellung im Text.**

reicht. So konnte sich die Milbe auf einer nur wenige Quadratmillimeter großen Fläche bewegen. Da sie nicht durch Flug oder Sprung dem Aufnahmebehälter entkommen kann, war keine Abdeckung notwendig. Die Hornmilbe aus der Familie Neoliodidae (Abb. 15) ist circa zwei Millimeter groß und ist in ihrem Lebensraum, der Rinde eines gefällten Baumes, fotografiert. Sie bewegt sich langsam, verlässt die Rinde nicht und kann deshalb ohne Behälter fotografiert werden. Da mit steigender Vergrößerung eine knorrige Rinde zu einem zerfurchten „Gebirge“ mit Höhlen heranwächst, sind hierfür die Makroblitze SB-R200 vorteilhaft, da sie mit den Gelenkarmen so positioniert werden können, dass sie in Spalten hineinblitzen. Damit die Milbe im Blickfeld bleibt, wurde hier die Rinde bewegt. Die Kreuzspinne in Abbildung 16 befindet sich in einem Aufnahmebehälter mit circa 80

mm Durchmesser. Mit Plastilin am Boden wird schräg stehend ein kurzes Holzstück festgehalten. Nach 30 Minuten hat die Spinne, wie in der Abbildung zu sehen, diese Position eingenommen, blieb ruhig sitzen, konnte mit leicht schräg gestelltem Behälter und ohne UV-Filter fotografiert werden. Eingesetzt waren zwei diametral aufgestellte Blitzgeräte SB-800, und um den Behälter ist eine Lage Transparentpapier gewickelt. In Abbildung 17 verzehrt eine Kreuzspinne eine Fliege. Nach einigen Stunden im Aufnahmebehälter, wurde von der Spinne ein Netz gewoben, in die sich eine dazugegebene Fliege verfang. Die Aufnahme erfolgte wie in Abbildung 12 mit zwei Blitzgeräten SB-800. Wäre ein weiterer Blitzkopf des Makroblitzes schräg oberhalb des Aufnahmebehälters positioniert gewesen, würden die Kauwerkzeuge der Spinne besser ausgeleuchtet sein.

**Literaturhinweise**

- Bornhardt, J. F. (Hrsg.): Mikrofotos mit Pfiff. Eigenverlag, Oberkochen 1994.
- Delly, J. G.: Photography through the microscope. Eastman Kodak Company, 1988.
- Göke, G.: Moderne Methoden der Lichtmikroskopie. Kosmos Verlag, Stuttgart 1988.
- Jähne, B.: Digitale Bildverarbeitung. Springer Verlag, Berlin 2002.
- Lüttgen, M.: Digitale Mikrofotografie mit einfachen Mitteln. Mikrokosmos 95, 41–43 (2006).
- Michel, K.: Die Mikrophotographie. Springer Verlag, Wien 1967.

- Piper, J.: Technische Realisation digitaler Mikrofotografie mit handelsüblichen Consumer-Digitalkameras. Teil 1: Allgemeine Aspekte, Verwendung von Kompakt- und Bridgekameras. Mikrokosmos 96, 111–124 (2007).
- Piper, J.: Technische Realisation digitaler Mikrofotografie mit handelsüblichen Consumer-Digitalkameras. Teil 2: Digitale Spiegelreflex-Kameras, Elektronenblitz-Fotografie, zukünftige Entwicklungen. Mikrokosmos 96, 173–182 (2007).

*Verfasser:* Helmuth Michelbach, Kellermannsgasse 3/29, 1070 Wien, Österreich, Tel.: 00 43 / 1 / 523 73 10, E-Mail: m.bach@gmx.at

## Kurze Mitteilung

### Die unsterblichen HeLa-Zellen

HeLa-Zellen teilen sich alle 24 Stunden, sie wachsen also viel schneller als die normalen Körperzellen des Menschen. Für die Forschung auf dem Gebiete der Krebsgenetik und der Tumoren sind die HeLa-Zellen heute unersetzlich.

Frage: Woher stammen diese speziellen Zellen? Es handelt sich bei den HeLa-Zellen um die Epithelzellen aus dem Gebärmutterhals einer an Krebs erkrankten Frau. Das besondere ist, dass diese Zellen mit dem Papillomavirus 18 (HPV 18) infiziert sind. Dieses produziert ein Protein, welches das p53 Tumor-Suppressor-Gen abbricht, ohne selber zu mutieren. Es handelt sich um eine Mutation innerhalb der Lack's Supergen-Familie auf dem Chromosom 6, das wichtige Chromosomenschäden bewirkt.

Diese Zellen wurden bei einer Biopsie im Februar 1951 bei einer afro-amerikanischen Frau im Johns Hopkins Hospital isoliert, die wegen einer abnormen Vaginalblutung behandelt wurde. In dem Tissue Culture Research Laboratorium des Surgery Departments der Klinik versuchte man, Tumorzellen in vitro zu kultivieren, war aber bislang erfolglos. Bis eine Laboratoriumsassistentin, Mary Kubicek, bemerkte, dass diese isolierten Zellen der Patientin am Leben blieben und in einer Nährlösung von Hühnerplasma sich sogar teilten, und zwar noch schneller als im Körper der Patientin.

Die Frau, deren Gebärmutterzellen plötzlich für die Wissenschaft so interessant waren, hieß Henrietta Pleasant Lacks, war geboren 1920, hatte 1943 einen Stahlarbeiter geheiratet, und drei Jungen und zwei Mädchen geboren.

Die Abkürzung für die Benennung der Zelllinie HeLa-Zellen stammt von ihrem Namen Henrietta Lacks. Diese Patientin starb trotz Bestrahlungstherapie am 4. Oktober 1951, genau 239 Tage, nachdem ihre Körperzellen auf dem künstlichen Nährboden zu wachsen begannen und sich zu teilen begonnen hatten. Henrietta Lacks wurde daheim in Clover, Virginia, begraben. Die HeLa-Zellen ihres Körpers aber haben sich inzwischen zum vielen Hundertfachen des Körpergewichts der Spenderin vermehrt. Für die Krebsforschung sind dies äußerst wertvolle Zellen, und sie teilen sich weiterhin. Man hat die Erwartung, dass es sich um die erste unsterbliche Zelllinie handeln könnte.

**Literaturhinweis**

- Sharrer, T.: "HeLa" herself. Celebrating the woman who gave the world the first immortalized cell line. *The Scientist* 20, 22 (2006).

# Maritime Bionik: Schlangensterne

## Teil 1: Mundwerkzeuge und Stacheln

Wolfgang Hasenpusch und Torsten Zaiß

Vor den Ufern des Roten Meeres, südlich von El Quesir, in den einsamen, hotelfreien Buchten mit zerklüftetem, etwa 100 m breiten Korallengestein leben im 50 cm flachen Salzwasser Tausende von Riffdach-Schlangensternen (*Ophiocoma scolopendrina*). Mit mindestens einem ihrer fünf stacheligen Arme haben sie ihren schnellen Rückzug in die zahlreichen Spalten des weißen Korallengesteins gesichert. Sie gehören zur Familie der Ophiocomidae. Diese agilen Meeresbewohner reizten schon viele Naturwissenschaftler zu Untersuchungen über Aufbau und Verhalten. Die maritime Bionik geht noch einen Schritt weiter: Sie will aus den speziellen, über Jahrmillionen optimierten Funktionen dieser Wesen Ideen für neue industrielle Anwendungen von Materialien, Verfahren und Anwendungen herleiten.

**S**chlangensterne gehören wie ihre Verwandten, die Seesterne, Federsterne, Seeigel und Seewalzen zu den Stachelhäutern (Echinodermata) (Abb. 1). Mit mehr als 2.000 Arten stellen jedoch die Schlangensterne die artenreichste Klasse, unterteilt in zwei Ordnungen mit 15 Familien (Jahn, 1976; Kiliyas, 1994). So wird die Ordnung der Schlangensterne mit verzweigten Armen (Euryalae) und die mit unverzweigten Armen (Ophiuridae) unterschieden. Die Ophiuridae treten in 11 Familien auf (Schuhmacher, 1996).

Schlangensterne sind in allen Meeren bis in Tiefen von 7.000 m zu Hause. Unter 4.000 m hat man allein 11 Arten gefunden. Nur wenige dringen in Brackwasser mit geringerem Salzgehalt vor, wie der Helle Schlangestern (*Ophiura albia*). Als Nahrung dienen Muscheln, Schnecken, Seeigel, Kleinkrebse, Würmer und organische Sinkstoffe (Detritus). Die Nahrung kann mit den Armen aufgenommen und zur Mundöffnung an der Unterseite geführt werden. Die Schlangensterne fischen im seichten Wasser sogar Plankton mit zwei Armen von der Wasseroberfläche. Zur Verdauung stülpen sie den Magen nach außen über die Nahrung; zu große Brocken werden wieder freigegeben. Schlangensterne besitzen keinen After.

### Abmessungen des Riffdach-Schlangensterns

Die deutlich abgesetzte Körperscheibe des Riffdach-Schlangensterns ist mit 7–20 mm Durch-

messer relativ klein und fast rund mit grauschwarzer, konzentrischer Musterung und gekörnter Oberfläche. Von ihr gehen die fünf bis zu 150 mm langen Arme mit den beidseitigen

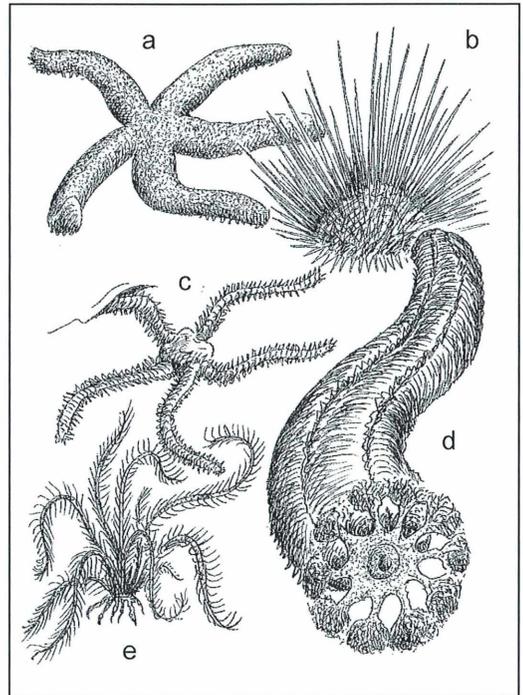


Abb. 1: Gruppen der Stachelhäuter: a Seestern, b Seeigel, c Schlangestern, d Seewalze, e Federstern (W. Hasenpusch).

kurzen Stacheln aus (Abb. 2). Sie weisen auf der Oberseite eine gestreifte, hell-dunkle Musterung auf, auf der Unterseite sind nahezu pigmentfreie Glieder mit einer Länge von 1–2 mm zu sehen. Auch die Stacheln haben nur eine maximale Länge von 5 mm.

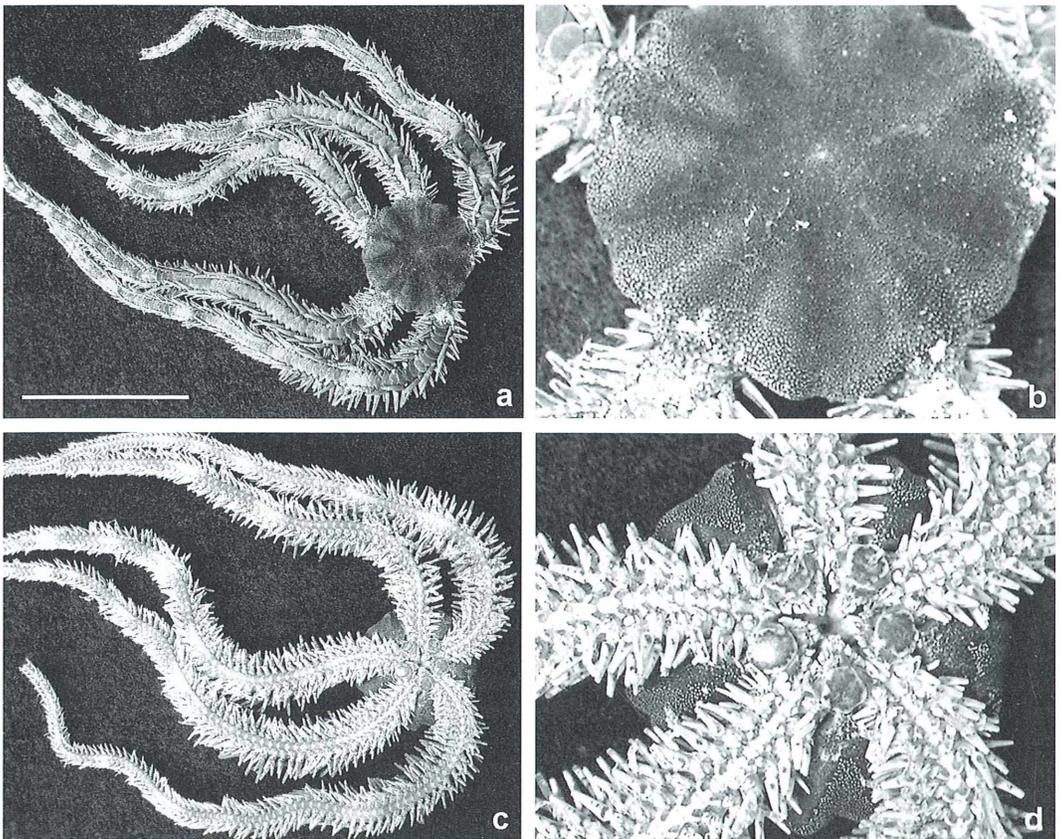
Bei den Schlangensterne gibt es eine Reihe charakteristischer Bauplan-Merkmale. So liegen sämtliche Körperöffnungen auf der Unterseite, der so genannten oralen Seite. Die fünfstrahlige Radiärsymmetrie des Kauapparates fasziniert: Um die fünfzählige Achse sind nicht nur die fünf Mundschilder zu erkennen, sondern auch die fünf Kiefer der Mundöffnung, die die Gestalt eines Pentagramms haben. Mit den damit verbundenen Proportionen des Goldenen Schnitts ist der Riffdach-Schlangenstein ein weiterer Vertreter aus der Fülle zahlreicher

Unterwasser-Lebewesen mit maritimer Harmonie (Hasenpusch, 2002).

Untersucht man die Verhältnisse von Zentralkörper-Durchmesser (Körperbreite), Körperhöhe und Armlänge von Riffdach-Schlangensterne verschiedener Größe, so stellt man folgende Beziehungen fest: Sowohl bei Auftragung der Armlänge  $L$  gegen die Körperbreite  $B$  als auch gegen die Körperhöhe  $H$ , ergibt sich jeweils ein linearer Zusammenhang (Abb. 3). Die Abmessungen folgen den Gleichungen  $B = 1/6 \times L$  und  $H = 1/20 \times L$ .

### **Schlanke und agile Arme**

Mit ihren relativ schlanken und langen Armen bewegen sich die Schlangensterne elegant und



**Abb. 2:** Makroskopische Ansichten des Riffdach-Schlangensterns. Die fünfstrahlige Radiärsymmetrie des Kauapparates fällt ins Auge. a Schlangenstein von oben. b Ausschnittsvergrößerung aus a. c Schlangenstein von unten. d Mundseite des Rumpfes (Ausschnittsvergrößerung aus c). Maßstrich 3 cm.

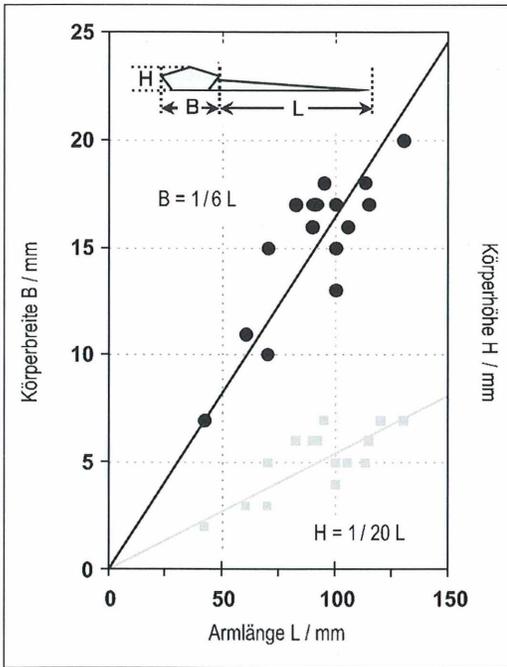


Abb. 3: Abmessungen der Riffdach-Schlangensterne aus El Qesir, Ägypten.

rasch, so dass sie potentiellen langsameren Angreifern entfliehen können. Die Arme unterscheiden sich erheblich von denen der Seesterne: Sie sind wesentlich schlanker und beweglicher. Sie vollführen auch seitliche Schlägelbewegungen. Dieser charakteristischen Beweglichkeit verdanken die Ophiuridae ihren Namen Schlangensterne. Als Schutz besitzen sie einen Panzer aus Skelettplatten und Stacheln für ihre Verteidigung. Diese Stacheln sind allerdings nicht so stark ausgeprägt wie die der Seeigel. Ein weiterer Schutzmechanismus besteht darin, dass der Schlangensterne Armteile oder gar ganze Arme bei Gefahr für Leib und Leben abwerfen kann. Die Abtrennung erfolgt dann zwischen zwei Armwirbeln. Da die Abtrennung in manchen Fällen infolge einer Berührung vonstatten gehen kann, wird im Angelsächsischen der Schlangensterne als „Brittle Star“ (zerbrechlicher Stern) bezeichnet (Fechter, 1975; Kiliyas, 1994).

Betrachtet man den Schlangensterne als vorläufiges Endresultat eines evolutionären Optimierungsprozesses von Mutation und Selektion, ergeben sich eine Fülle von Fragen: Wie sehen die Mikrostrukturen aus? Lassen sich Teil-

strukturen abstrahieren? Können im Hinblick auf die Funktionen Bauprinzipien bei den einzelnen Körperteilen aufgedeckt werden? Welche Materialien werden verwendet, und wie ist das Material innerhalb einer Schlangensternekomponente verteilt? Wie sind die Materialeigenschaften, und welche Auswirkungen haben sie auf die mechanische Stabilität? Inwieweit werden den Anforderungen an Form und Material Genüge getan? Gibt es Gemeinsamkeiten beziehungsweise Unterschiede bei den Mikrostrukturen und verwendeten Materialien bei anderen Stachelhäutern wie dem Seeigel? Welche Anregungen gehen von den Strukturen aus? Welche Ideen lassen sich daraus entwickeln? Zunächst werden Kauapparat und Zähne näher untersucht. Danach wird gezeigt, welche Rolle die Stacheln bei der Nahrungsaufnahme spielen. Im zweiten Teil dieses Berichtes werden die Skelettplatten im Zentrum des Interesses stehen.

## Mund und Zähne

Wirft man den Blick auf das Profil des Kauapparates (Abb. 4), so fällt direkt die erste Besonderheit ins Auge: Die Zähne greifen ineinander ähnlich wie bei einem Reißverschluss. Zieht man die fünfstrahlige Radiärsymmetrie der Kiefer in Betracht, so ist das Gesamtsystem der Verzahnung bemerkenswert. Dabei sind die Zähne nicht starr angeordnet, sondern besitzen auf ihren Positionen eine gewisse Flexibilität. Die Mundöffnung befindet sich in Abbildung 4a am oberen Bildrand. Man sieht zwei vertikale Zahnreihen, die gegeneinander bewegt werden können. Je mehr man ins Innere vordringt, desto größer werden die Zähne. Beim genauen Hinschauen tritt eine weitere Überraschung zutage. Während die Zähne zunächst kompakt erscheinen und die Ähnlichkeit zu unseren Zähnen beispielsweise im Glanz unverkennbar ist, sieht man in den Zwischenräumen zerbröseltes Zahnmaterial mit pappigem Bruch. Dies ist ein erster Hinweis darauf, dass sich die Zähne der Schlangensterne fundamental von unseren unterscheiden. Denn der menschliche Zahn lässt sich nicht einfach zerdrücken, er spaltet sich mit kantigem Bruch. Im Detail wird der Unterschied besonders bei den rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen deutlich (Abb. 4b–e). Sind die Zähne vom

Inneren des Mundes aus gesehen (Abb. 4c und e, rechter Bildrand) an der Oberfläche noch relativ kompakt, so weisen sie im zunehmenden Maße in Richtung der Zahnleiste eine Rauigkeit auf (Abb. 4b). Erstaunlicherweise ist dort die Oberfläche entgegen der ersten Vermutung sehr rau (Abb. 4d). Wenn man sich die Art und Weise der Nahrungsaufnahme von *Ophiocoma scolopendrina* vor Augen führt, ist die Oberfläche auch sinnvoll. Wie schon erwähnt, handelt es sich bei der Beute entweder um organische Sinkstoffe (Detritus), die in Form einer Schleimwurst zum Mund geführt werden, oder um kleine Weichtiere, Würmer oder Gliederfüßer, die zerkaut werden. Beiden Funktionen wird die Beschaffenheit der Zähne gerecht. So kann auf der einen Seite der Transport der Schleimwurst über die raue Oberfläche gewährleistet werden. Zum anderen können die kompakten Zahnflächen die größeren Beutetiere zerkleinern. Die zunehmende Rauigkeit in Richtung der Zahnleiste hilft bei der Arretierung der Nahrungsbestandteile. Kräftige Muskeln bewegen die Kiefer gegeneinander und können den Mundraum sogar zusammenpressen.

An der Pforte zum Mund befinden sich auf jeder Kieferseite die Mundfüßchen, die dazu dienen, die Nahrung in den Mund zu stopfen. Wie

kommt die Nahrung zum Mund? Welche Mechanismen hat die Natur für den Nahrungstransport im Laufe der Evolution entwickelt? Dazu werden im nächsten Themenschwerpunkt die Arme und Stacheln näher untersucht.

### Arme und Stacheln

Die fünf langen und schlanken Arme von *Ophiocoma scolopendrina* sind unverzweigt und aus einzelnen Skelettscheiben aufgebaut. Die Armglieder bestehen aus vier Calcit-Platten, je vier Stacheln auf beiden Seiten, zentralem Muskelstrang mit einem Radialkanal sowie zwei Ambulakralfüßchen ohne Saugscheiben. Auf der dorsalen Seite sind die Stacheln dunkelgrau bis braunschwarz mit regelmäßig angeordneten weißen Pigmentflecken (Abb. 5a). Im Gegensatz dazu erscheinen sie auf der oralen Seite einfarbig hellgrau bis gelbbraun.

Unter dem Lichtmikroskop erkennt man eine charakteristische Oberfläche, die aufgrund der zunehmenden Tiefenschärfe besonders deutlich aus den rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen hervorgeht (Abb. 5b–g). Über den ganzen Stachel verteilt (Abb. 5b) ergibt sich ein Erscheinungsbild, das durch eine gleichförmige

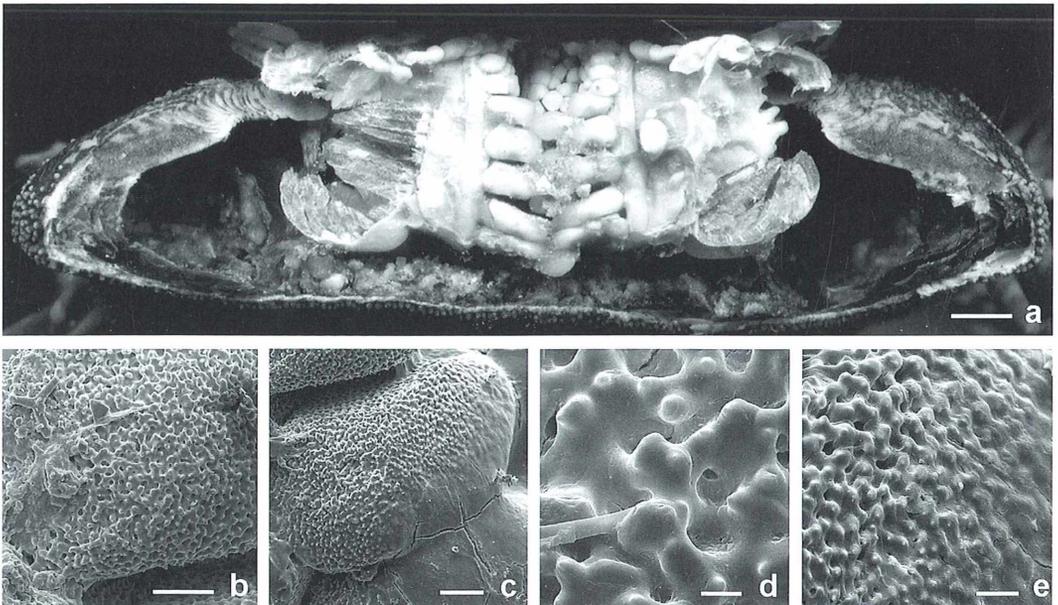


Abb. 4: Profil des Inneren eines Schlangensterms; Sequenz unterschiedlicher Vergrößerungen des Kauapparates und der Zahnoberfläche. Maßstriche: a 1,25 mm, b 90 µm, c 150 µm, d 15 µm, e 40 µm.

Verteilung und Porosität geprägt wird. Im Einzelnen lässt sich das zugrunde liegende Muster wie folgt beschreiben: Ein zweidimensionales Netz wird radial um die Stachelnachsachse aufgespannt. Es besteht aus circa 7 bis 10  $\mu\text{m}$  breiten Calciumcarbonat-Maschen, die einen Durchmesser von 15 bis 27  $\mu\text{m}$  aufweisen. Auf dem Netz befinden sich senkrecht angeordnete Sekundärstacheln, welche die parallel ausgerichteten einzelnen Netzebenen verknüpfen und so eine dreidimensionale Gerüststruktur bilden. In

einer Sequenz von Ausschnittsvergrößerungen (Abb. 5b–e) beobachtet man um eine Masche in regelmäßigen Abständen jeweils vier bis sechs Sekundärstacheln. An der Oberfläche des Stachels treten die Sekundärstacheln besonders offensichtlich aufgrund des spitzen Erscheinungsbildes zutage (Abb. 5f und g). Die Spitzen sind wie alle übrigen Sekundärstacheln radial regelmäßig ausgerichtet. Der resultierende Verbund zeichnet sich durch eine enorme Porosität bei möglichst geringem Materialverbrauch aus.

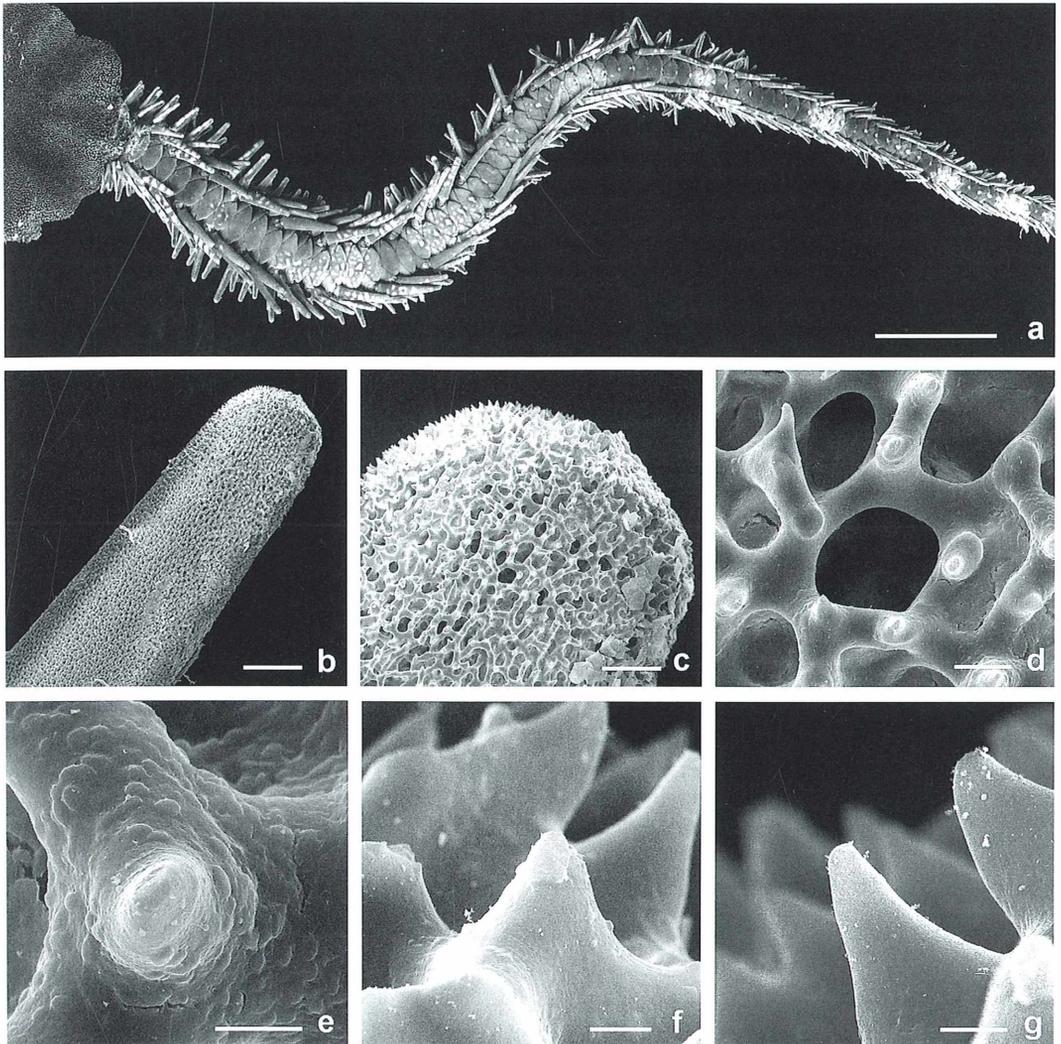


Abb. 5: Riffdach-Schlangensterne mit Stacheln. a Unverzweigter Arm. Bei den Abbildungen c bis e handelt es sich jeweils um eine Ausschnittsvergrößerung aus b. e ist eine Ausschnittsvergrößerung von d. In den Abbildungen f und g werden die Sekundärstacheln seitlich betrachtet. Maßstriche: a 1 cm, b 350  $\mu\text{m}$ , c 100  $\mu\text{m}$ , d 15  $\mu\text{m}$ , e–g 5  $\mu\text{m}$ .

Diskutiert man die unterschiedlichen Funktionen der Stacheln einzelner Arten von Stachelhäutern, so offenbart sich ein aufschlussreicher Unterschied zwischen denen der Schlangensterne und denen der Seeigel, beispielsweise denen der Violetten Seeigel. Während die Stacheln der Violetten Seeigel zum Laufen und zur Verteidigung dienen, spielen die Stacheln der Schlangensterne bei der Atmung und vor allem beim Nahrungstransport eine wichtige Rolle. So befindet sich auf der Oberfläche der Stacheln ein klebriger Schleim, an dem die organische Sinkstoffe und die Mikroorganismen haften bleiben und von Stachel zu Stachel weitergereicht werden. Beim Transport können unverdauliche Bestandteile aussortiert werden, so dass der Magen die Nahrung möglichst effizient verdauen kann. Die dreidimensionale Netzwerkstruktur bietet genügend Raum für Drüsen- und Sinneszellen.

### **Maritime Bionik**

Nachdem wir die Funktionen und Mechanismen der Schlangensterne-Mundwerkzeuge und -stacheln am Beispiel des Riffdach-Schlangensterne betrachtet haben, stellt sich uns die Frage nach der bionischen Auswertung: Welche Funktionen oder Ideen können wir von den Schlangensterne ableiten?

Dominierend bei den Stachelhäutern allgemein und bei den Schlangensterne im Besonderen fällt ihre fünfzählige Achse auf: Was lässt sich aus einer Scheibe mit fünf Strängen entwickeln? Nahe liegend ist natürlich beispielsweise eine Autodach-Gepäcksicherung mit einer Zentralscheibe oder -ring und fünf Sicherungsgummibändern mit entsprechenden Haken. Umgekehrt wären auch fünfgliedrige Beutel, Kappen und Schleppnetze vorstellbar. Fünf Stangen für Zelte reichen ebenfalls völlig aus, um hinreichende Stabilität und Geräumigkeit zu gewähren. Fünf Verlängerungskabel könnten aus einem zentralen Behältnis mit Rückspuleinrichtung gezogen werden, die über eine zentrale Steckerbuchse für die Stromversorgung verfügt. Fünf Öffnungen hat auch ein Overall, den man aufgespannt auf ein fünfarmiges Gestell, prima nach der Wäsche trocknen kann. Vielleicht finden auch Marionettenspieler an einer Zentralscheibe Gefallen, denn die meisten Spielfiguren kommen mit fünf Fäden für Kopf und die Gliedmaßen aus. Für

runde Hutschachteln eignen sich fünf Schleifenbänder mit einer zentralen Sonnenblume oder Rose vorzüglich. Fünfseitige Arbeitstische oder Drehregale für Schrauben und Werkzeuge in der Produktion sind sehr platzsparend.

Auch über die Funktion des Mundes und seiner fünf Zuführungskanäle lohnt es sich für praktische Übertragungen in die Technik nachzudenken. Beispielsweise können mit nach innen gerichteten Zähnen ausgestattete Lochscheiben, an denen fünf Stützseile befestigt sind, Masten in der Senkrechten halten. Bohrköpfe ließen sich über fünf Zu- und Abführrohre schmieren, kühlen und von Bohrmaterial befreien. Man könnte neue Sternventile mit sternförmigen Schlitzen (z.B. drei-, vier- oder fünfzählig) konstruieren. Denkbar wäre auch ein Mehrfach-Reißverschluss zum Zusammenfügen von Zelt-, Stoff-, Folienbahnen zu neuartigen Stellwänden, Sicht- und Windschutzvorrichtungen oder Messständen.

Des Weiteren springt die Gliederstruktur der Schlangensterne-Arme ins Auge. Vielleicht finden Juwelieri in dem Glieder-Design der Schlangensterne neue Anregungen für ihre Schmuckstücke. Auch die Vorteile der speziellen Kalkplatten-Formen für Kettenfahrzeuge ließen sich überdenken. Oder lässt sich aus den Gliederformen ein mechanischer und elektromagnetischer Schutz für Kabeltrassen ableiten?

Der Aufbau der Stacheln ist aufgrund der enormen Porosität die ideale Vorlage für neue HPLC- und GC-Chromatographie-Säulen. Man könnte aus der Stachelstruktur Anregungen für neue Festkörper aus Polymeren oder anderen Materialien entwickeln, die eine ähnlich hohe Porenkonzentration aufweisen. Organische Polymere mit dieser charakteristischen Struktur vereinen optimal die Parameter große Porosität bei kleinstem Volumen und gleichzeitiger Stabilität. In der Analytik haben ähnliche Materialien bereits Einzug gehalten (Cabrera, 2004; Engewald, 2004). Außerdem besteht die Möglichkeit das Trägermaterial zusätzlich entsprechend den Erfordernissen mit einem Coating zu modifizieren. Das neue Säulenmaterial könnte auf diese Weise den Durchsatz erhöhen und durch kürzere Analysezeiten neue Maßstäbe setzen. Ebenso würden die Chromatographie-Effekte verbessert. Hierdurch wäre in Zukunft eine bessere Gastrennung zu erwarten. Vielleicht kann so eine Trennung von verzweigten und geradlinigen Kohlenwasserstoffen durchgeführt werden.

## Zusammenfassung

Der Schlangensterne besticht nicht nur durch sein ästhetisches Aussehen, das vor allem durch die fünfstrahlige Radiärsymmetrie geprägt wird, sondern er erweist sich auch als ein äußerst widerstandsfähiger Protagonist in der Unterwasserwelt. Je detaillierter man sich mit den Einzelkomponenten beschäftigt, desto mehr wird klar, mit welcher Raffinesse die Natur im Jahrmillionen andauernden Evolutionsprozess ein intelligentes Design geschaffen hat. Durch die Untersuchungen von makroskopischen, lichtmikroskopischen und rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen können die Baupläne einzelner Bestandteile des Schlangensterns entschlüsselt werden. Dabei ist es auch möglich, die vorliegenden charakteristischen Muster zu abstrahieren. Führt man die Argumentation aus Sicht der Hohlräume, ergeben sich faszinierende neue Einblicke in die Welt der Mikrostrukturen.

## Danksagung

Herrn Dr. C. Reiner sei für die Anfertigung der REM-Aufnahmen gedankt.

## Literaturhinweise

- Cabrera, K.: Applications of silica-based monolithic HPLC columns. *J. Sep. Sci.* 27, 843–852 (2004).
- Engewald, W.: Chromatographie – alte Dame, ewig jung. *Analytica Pro* 51, 16–18 (2004).
- Fechter, H.: Die Schlangensterne. In: Grzimek, B., Kraus, O., Riedl, R., Thenius, E. (Hrsg.): *Weichtiere Stachelhäuter*, S. 391–408. Kindler Verlag, Zürich 1975.
- Hasenpusch, W.: *Maritime Harmonie – Der Goldene Schnitt* (2). CLB 53, 52–54 (2002).
- Jahn, T., Brehm, A. B.: Schlangensterne. In: Jahn, T., Calatin-Krauß, A., Hoffrichter, O., Lange, H., Miotk, P., Neub, M. (Hrsg.): *Wirbellose* 1. S. 35–38. Herder Verlag, Freiburg 1976.
- Kilias, R.: Klasse Ophiuroidea – Schlangensterne. In: Füller, H., Gruner, H.-E., Hartwich, G., Kilias, R., Moritz, M. (Hrsg.): *Wirbellose Tiere* 2. S. 680–693. Urania Verlag, Leipzig 1994.
- Schuhmacher, H., Hinterkircher, J.: *Niedere Meeres-tiere*. BLV Verlag, München 1996.

*Verfasser:* Prof. Dr. Wolfgang Hasenpusch und Dr. Torsten Zaiß, Universität Siegen, Anorganische Chemie, Adolf-Reichwein-Straße, 57068 Siegen

## Buchbesprechung

Westheide, W., Rieger, R. (Hrsg.): *Spezielle Zoologie. Teil 1: Einzeller und Wirbellose Tiere, 2. Auflage*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2007, 976 Seiten, 1197 Abbildungen, gebunden, € 89,50, ISBN 978-3-8274-1575-2.

Die seit einiger Zeit erwartete zweite Auflage des ersten Teils der *Speziellen Zoologie* von Wilfried Westheide und Reinhard Rieger ist erschienen. Die Herausgeber haben sich der mühseligen Aufgabe unterzogen, die seit der ersten Auflage vor zehn Jahren erfolgten, teilweise als dramatisch einzustufenden Erkenntnisfortschritte in die Neuaufgabe des er-

folgreichen Lehrbuchs nicht nur einfließen zu lassen, sondern sie auch zu diskutieren und zu kommentieren, ein sicherlich nicht einfaches Unterfangen. Das Ergebnis ist beeindruckend und darf wohl mit Fug und Recht als das derzeit aktuellste Zoologie-Systematikwerk im deutschsprachigen Raum eingestuft werden. Natürlich gibt es auch in einer solchen Neuerscheinung Aspekte, die zur Kritik veranlassen. Das muss nicht unbedingt inhaltlicher Natur sein, sondern kann auch fertigungstechnische Gesichtspunkte betreffen, welche die Herausgeber wahrscheinlich gar nicht wesentlich haben beeinflussen können. So dürfte man bei einem Werk, wie es hier vorliegt, einen deutlich besseren Reproduktionsstandard

der zur Übermittlung der Sachverhalte wichtigen Abbildungen erwarten. Aber offenbar wurde hier einmal mehr am falschen Ende gespart. Ein anspruchsvolles Druckpapier – wie beispielsweise bei der ersten Auflage – und ein hier und da etwas gefälligeres Layout hätten zweifelsfrei eine erfreulichere Wiedergabe der in einem solchen Buch wichtigen Illustrationen ergeben.

Aufs Ganze gesehen ist eine derartige Kritik sicherlich marginal und betrifft nicht den Gesamthalt des Werks. Es wäre einfach nur schöner, wenn sich die bildlichen wie textlichen Darstellungen der Sachverhalte auf einem vergleichbaren Qualitätslevel getroffen hätten.

Thomas Groß, Heidelberg

## Nachricht

### 7.–8. Juli 2007: Planktonwochenende in Heiligensee

Heiligensee – ein Stadtteil am nördlichen Rand Berlins. Oder doch eher ein Dorf?

Auf der Halbinsel, die nordwestlich von der Havel und südöstlich vom Heiligensee umschlossen ist, ticken die Uhren noch langsamer als in der hektischen Großstadt. Hier kennt man einander noch und hält ein Schwätzchen auf dem Dorfplatz. Hier ist es, wo Herr Drews zu Hause ist, und wo auf dem ehemaligen Dorfanger eine gemütliche Senioren-Begegnungsstätte steht. So kam Herrn Drews die Idee, im Rahmen der Berliner Mikroskopischen Gesellschaft in diesen Räumlichkeiten ein Wochenende zu gestalten, das dem Plankton gewidmet ist – was liegt näher mit so viel Wasser drum herum. Nachdem dieser Vorschlag Gestalt angenommen hatte, wurde mit dem Bezirksamt über die Nutzung der Tagesstätte verhandelt und ein Termin festgelegt.

Am Freitagabend vor der Wochenendveranstaltung, im Rahmen eines regulären Übungsabends der Gesellschaft, hielt Herr Professor emer. Dr. Wolfgang Dohle, ehemals Institut für Biologie der Freien Universität Berlin, einen Vortrag über Gewässerökologie, um die Teilnehmer auf das vor ihnen Liegende einzustimmen. Er hatte von der Aktivität erfahren und sich freundlicherweise angeboten, die Veranstaltung mit seinem Erfahrungsschatz und Fachwissen zu unterstützen.

Am Vormittag des 7. Juli rückten dann 18 Mikroskopiker mit ihrer Ausrüstung an und richteten sich in dem großen Aufenthaltsraum der Senioren-Begegnungsstätte ein. Nachdem Tische gerückt waren und jeder seinen Platz aufgebaut hatte, teilten sich die Teilnehmer in drei Gruppen und machten sich auf, um der Beute mit Planktonnetz und leeren Marmeladengläsern nachzustellen. Es wurden Proben aus der Havel, dem Heiligensee und dem so genannten Teufelsgraben entnommen. Ein glücklicher Umstand war es, dass das Institut für Biologie/Zoologie der Freien Universität Berlin über ein Wassergrundstück mit einem Ruderboot am Heiligensee verfügt. So konnte diese Gruppe in verschiedenen Regionen des Sees Plankton fischen.

Nach der Rückkehr stärkten sich zunächst alle in den umliegenden Restaurants, und der Nachmittag war dann ganz dem Mikroskopieren und der Bestandsaufnahme der Probenorganismen gewidmet. Zu dieser Zeit stieß dann auch Professor Dohle wieder dazu und half bei der Sichtung und Bestimmung der Organismen. Außerdem unterstützte Stefan Förster, ein Tutor von der FU Berlin, die Mikroskopiker bei der Identifizierung der Spezies.

Und was für eine Vielfalt es zu sehen gab. Es wurden *Ceratium*, *Phacus*, *Vorticella* und verschiedene *Volvox*-Arten sowie das Glaskrebschen *Leptodora* entdeckt, um nur einige besonders spektakuläre Vertreter zu nennen. Ein Teilnehmer hatte ein Mikroskop mit stereoskopischer Beleuchtung mitgebracht, und so waren die Tierchen sogar dreidimensional zu beobachten. Die Funde wurden notiert und als der Tag sich dem Ende neigte, ging Rudolf Drews mit 18 beschriebenen Auswertebögen heim.

Am nächsten Tag trafen sich alle wieder, um noch ein wenig in den Proben zu stöbern – es könnte einem ja der beste Fund entgangen sein. Dann präsentierte Herr Drews die Übersicht der Auswertebögen, die er über Nacht zusammengefasst hatte. Zusammen mit Herrn Dohle wurde daraus die Qualität der Gewässer abgeleitet, soweit das bei einmaligen Stichproben möglich ist. Das Thema Limnologie und die Auswirkungen von künstlichem Nährstoffeintrag durch Düngemittel in die Gewässer wurden lebhaft diskutiert. Dann war es aber leider auch schon wie-

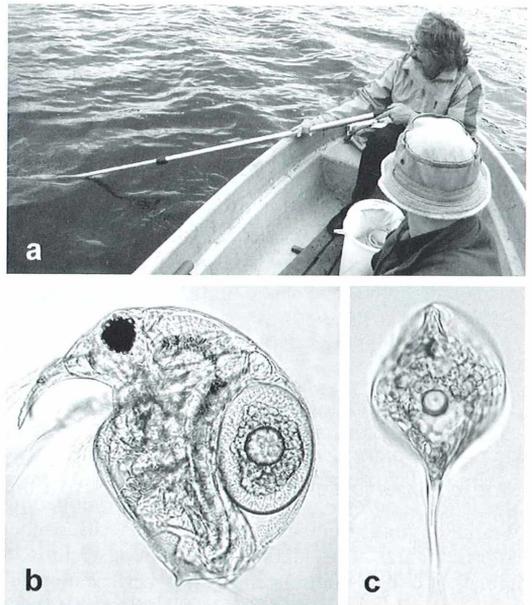


Abb. 1: Bei der Probennahme im Heiligensee (a) wurden unter anderem das Rüsselkrebchen *Bosmina* (b) und Eugleniden der Gattung *Phacus* (c) gefunden (Fotos: G. Zahrt, Berlin).

der Zeit, die Gerätschaften abzubauen und das Labor wieder in einen Seniorenfreizeitraum umzugestalten.

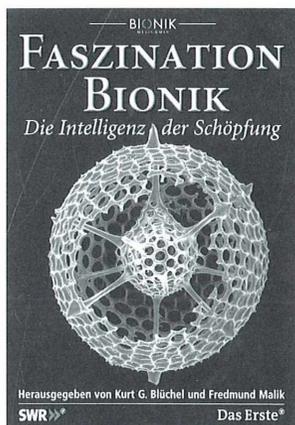
Alle waren sich einig, dass dieses Wochenende eine rundum gelungene Aktion war und baldmöglichst wiederholt werden sollte. Interessierte Gäste von

außerhalb Berlins sind herzlich eingeladen teilzunehmen. Schlussendlich ging der Dank aller Teilnehmer an Herrn Drews, der diese Initiative gestartet hat, Herrn Professor Dohle für seine Unterstützung sowie an alle, die hinter den Kulissen aktiv waren.

Martina Zahrt, Berlin

## Buchbesprechungen

**Blüchel, G., Malik, F. (Hrsg.):**  
**Faszination Bionik –**  
**Die Intelligenz der Schöpfung.**  
Bionik Media GmbH, München  
2006, 432 Seiten, über  
500 Farbfotos, Großformat,  
gebunden, € 49,90,  
ISBN 978-3-939314-00-4.



Es besteht kein Zweifel daran, dass der Wissenschaftszweig Bionik unterdessen einen der führenden Plätze in den Naturwissenschaften behauptet. Wir werden in nächster Zukunft zahlreiche Innovationen und Fortschritte aus diesem Bereich erwarten dürfen. Teilweise stehen wir schon mitten drin im Geschehen.

Dieser Band ist das Begleitbuch zu einer TV-Produktion „Die große Show der Naturwunder“, welche der Südwestrundfunk und das Das Erste® ausgestrahlt haben.

Es liegt wieder einmal ein sehr schergewichtiger Foliant auf dem Schreibtisch des Rezensenten. Diesmal fällt es allerdings überhaupt nicht schwer, sich über dieses opulente Printprodukt zu

freuen. Fachkompetente Autoren vermitteln fundiertes Wissen über die verschiedensten Facetten der Bionik. Illustriert werden die einzelnen Kapitel mit einem atemberaubenden Bildmaterial, das in einem erfrischend anregenden Layout dargeboten wird. Dabei stehen sich die Originalfotos und die grafischen Umsetzungen der Sachverhalte in ihrer Qualität in nichts nach. Dies ist ein rundum gelungenes Werk, von dem man sich nur wünschen kann, dass es weiteste Verbreitung findet.

Klaus Hausmann, Berlin

**Zierl, R.: Technische Fotografie. Für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure.**  
Pearson Studium, München  
2007, 211 Seiten,  
zahlreiche Farbbildungen,  
broschiert, € 24,95,  
ISBN 978-3-8273-7264-2.

Obwohl dieses Handbuch laut Titel primär an Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure gerichtet ist, bietet es sich ebenso für jeden Hobby-Fotografen oder den, der es noch werden möchte, an, da grundlegende Prinzipien der Fototechnik vermittelt werden. Zunächst werden Tipps für eine gute Ausrüstung gegeben und Arbeitstechniken erläutert wie beispielsweise Verwendung der optimalen Blende, Brennweite, Belichtungszeit und des Weißabgleichs. Großformatige, farbige Bilder belegen in diesen und den folgenden Kapiteln das Resultat der unterschiedlichen Einstellungen und Effekte gekonnt. Die

Gegenbeispiele – also so, wie man es nicht machen sollte – zeigen sehr überzeugend, wie vorteilhaft sich die empfohlenen Vorgaben und Hinweise auf die Güte des Bildes auswirken. Im dritten Kapitel wird unter verschiedenen Aspekten (perspektivische Darstellung, Ausschnittwahl, Farbtemperatur, etc.) detaillierter auf zahlreiche spezielle Objekte (z. B. Blumen, Steine, Versuchsanordnungen, reflektierende Oberflächen) eingegangen. Hat man nun das gewünschte Bild erfolgreich aufgenommen, aber möchte dennoch beispielsweise den ein oder anderen kleinen Fehler korrigieren, Bilder zusammenstellen oder Kontrast und Farbton verändern, dann kann man in zwei weiteren Kapiteln erfahren, wie man mit Erfolg digitale Bildbearbeitung durchführen kann. Das im Internet kostenfrei erhältliche Programm GIMP und das professionelle Programm Adobe Photoshop werden in ihren Grundzügen vorgestellt. Das letzte Kapitel beschreibt die Bildpräsentation anhand des OpenOffice Writer. Mathematisch-physikalisch Interessierte können dem Anhang Formeln zu Berechnung diverser Faktoren wie zum Beispiel Auflösung, Tiefenschärfen, tolerierbarer Blendenwert und Belichtungszeit für bewegte Objekte entnehmen.

Das Layout des Buches ist sehr anschaulich und großzügig gestaltet, die Abbildungen – wie sollte es anders sein in einem Buch zur Fotografie – von ausgezeichneter Qualität. Insbesondere für Fotografie-Einsteiger dürften die Anleitungen der *Technischen Fotografie* sehr hilfreich sein.

Renate Radek, Berlin

## Kurze Mitteilung

### Maschinelles Spülen von Objektträgern

„Geputzt und gebrauchsfertig“, so oder so ähnlich ist es auf den Objektträger-Packungen der meisten Hersteller zu lesen. Leider scheint diese Aussage oft mehr einem frommen Wunsch des Herstellers als der Realität zu entsprechen, und so empfiehlt es sich, zumindest Objektträger für histologische Schnitte vor Gebrauch selbst zu reinigen. Die zu diesem Zweck in der Literatur (z. B. Adam und Czihak, 1964; Böck et al., 1989) empfohlenen Methoden beruhen oft auf der Anwendung „harter“ Chemikalien, die unter gesundheitlichen und Sicherheitsaspekten für den Amateur nicht praktikabel, zum Teil auch nicht ohne weiteres erhaltlich sind. Nach längerem Herumprobieren reinige ich Objektträger inzwischen nur noch durch gründliches Abreiben mit Wasser, dem eine geringe Menge handelsüblichen Spülmittels zugegeben wird. Anschließend werden die Objektträger in destilliertes Wasser gestellt und mit fusselfreien Tüchern (mehrfach gewaschene Küchen-Trockentücher) abgetrocknet oder in den Wärmeschrank gestellt. Die Methode ist billig, einfach zu handhaben und auch für histologische Schnitte geeignet, aber arbeitsintensiv.

Eine kleine Adaption der handelsüblichen Kunststoff-Objektträgerkästen reicht aber schon aus, um den Aufwand zu minimieren. Aus Kästen für 25 Objektträger habe ich sowohl den Deckel als auch den Boden soweit herausgesägt, dass nur noch ein schmaler Steg an allen Seiten übrig bleibt (Abb. 1). Dieser verhindert ein Herausrutschen der Objektträger. Der Kasten kann nun – mit Objektträgern bestückt – in eine Spülmaschine gestellt werden. Um eine unerwünschte Belegung der Objektträger mit Tensiden oder Ähnlichem zu vermeiden, verwende ich nur einfaches (= billiges) Spülmittel ohne Klarspüler. Nachdem die Objektträger in der Maschine gespült wurden, stelle ich sie (im Kasten) noch kurz in destilliertes Wasser ein und verbringe dann den ganzen Kasten zum Trocknen in einen Wärmeschrank. Das Ergebnis sind saubere, fettfreie Objekt-

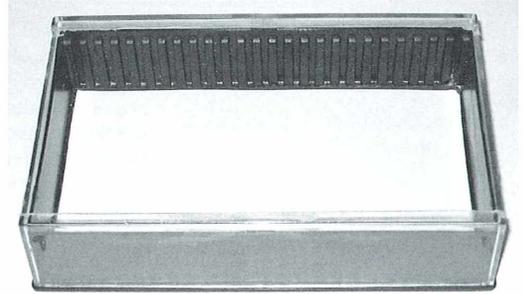


Abb. 1: Der „Spülkasten“ in Aufsicht.

träger ohne Kalkflecken. Auf diese Weise lassen sich auch die für Serienschritte benötigten, größeren Mengen an Objektträgern mit wenig Aufwand effektiv spülen.

Selbstverständlich lassen sich auch andere Behältnisse verwenden, wichtig sind lediglich zwei Punkte:

1. Die Objektträger müssen so fixiert sein, dass sie keine Beschädigungen erleiden (Man unterschätze den Druck des Sprühstrahls der Spülmaschine nicht!).
2. Das Material des Behälters sollte auch auf längere Sicht den Wassertemperaturen in der Maschine (und gegebenenfalls denen im Trockenschrank) standhalten, ohne sich zu verziehen beziehungsweise zu zerschmelzen.

#### Literaturhinweise

- Adam, H., Czihak, G.: Arbeitsmethoden der makroskopischen und mikroskopischen Anatomie. Ein Laboratoriumshandbuch für Biologen, Mediziner und technische Hilfskräfte. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1964.
- Böck, P. (Hrsg.): Romeis Mikroskopische Technik, 17. Auflage. Urban und Schwarzenberg, München 1989.

Verfasser: Dipl.-Biol. Martin Rodegro,  
Wiesengrund 39, 48308 Senden-Ottmarsbocholt,  
Tel.: 025 98/91 83 83, Fax: 025 98/91 83 84,  
E-Mail: [Rodegro@mrodegro.de](mailto:Rodegro@mrodegro.de)

# Endoreduplikation beeinflusst die Größe und das Differenzierungspotential von Pflanzenzellen

Eberhard Schnepf

Vor kurzem berichteten Imai et al. (2006), dass sie einen wichtigen Regulator des Ploidiegrades bei der Endoreduplikation in *Arabidopsis thaliana* (Ackerschmalwand, Kreuzblütler) entdeckt hätten. Was ist eigentlich Endoreduplikation? Wie erkennt man sie? Wo gibt es gut zu demonstrierende Beispiele? Welche Rolle spielt sie bei der Entwicklung von Pflanzen? Wie wird sie molekular reguliert? Es soll hier versucht werden, diese Fragen soweit möglich zu beantworten.

Die Größe eines Organs hängt ab von der Zahl der Zellen, die es aufbauen und von der Größe dieser Zellen, gegebenenfalls auch von der Größe der Interzellularen. Das ist trivial. Pflanzenzellen können größer werden durch Expansion (Zunahme der Vakuolisierung und der nukleocytoplasmatischen Masse). Die Zellzahl nimmt zu durch den Zellzyklus.

## Der Zellzyklus

Bei einer gerade geteilten Zelle befindet sich der Zellkern in der G-1-Phase. Er ist aktiv in der Bildung von RNA. Es folgt die S-Phase, in der die DNA repliziert wird. Ein Chromosom besteht danach aus zwei Chromatiden. Die Zelle kommt dann in die G-2-Phase, in der wie in der gesamten Interphase RNA synthetisiert wird. Die darauf folgende Mitose (M-Phase) beginnt mit einer vorübergehenden Dekondensation der Chromozentren (Zerstäubungsstadium; Nagl, 1976), die bislang als dichte, gut färbare heterochromatische Strukturen mehr oder weniger deutlich erkennbar waren. Daraufhin, in der eigentlichen Prophase, kondensiert sich das Chromatin und Chromosomen werden sichtbar. Die Kernhülle fragmentiert und es entsteht die Spindel. Die Chromosomen ordnen sich in der Metaphase und trennen sich in der Telophase, an deren Ende die beiden Tochterkerne wieder mit einer Kernhülle umschlossen werden. Der Zellzyklus wird durch die Zelltei-

lung (Cytokinese) abgeschlossen. Es sind zwei Zellen entstanden.

Von diesem normalen Ablauf des Zellzyklus gibt es viele Abweichungen. Wenn die Zellteilung unterbleibt, entstehen vielkernige (polyenergide) Zellen. Manche Algen wie *Vaucheria* und Pilze wie *Saprolegnia* bestehen aus vielkernigen Zellen, sind siphonal organisiert.

Bei höheren Pflanzen entstehen beispielsweise die ungegliederten Milchröhren bei den Euphorbien durch das Ausbleiben der Cytokinese. Die gegliederten Milchröhren von Korbblütlern und anderen Pflanzen werden hingegen durch die Fusion von Einzelzellen gebildet.

## Endozyklen: Endomitose

Wenn die DNA repliziert wird und die Chromosomen sich teilen, ohne dass der Kern voll in die eigentliche Prophase eintritt – also ohne dass die Chromosomen klar sichtbar werden, die Kernhülle fragmentiert und eine Spindel gebildet wird – spricht man von einer Endomitose. Sie wurde zuerst von Geitler (1939) richtig erkannt und interpretiert. Charakteristisch für eine Endomitose ist, dass sie mit der Zerstäubungsphase beginnt. Nach der Endomitose ist der DNA-Gehalt des Zellkerns verdoppelt. Es ist eine tetraploide Zelle in einer sonst diploiden Pflanze entstanden (somatische Polyploidie). Für die DNA und die Chromosomenzahl eines diploiden Kerns steht meistens „2 C“. Nach der Endomitose (wie in der G-2-Phase)

gibt es also einen 4-C-Kern. Die Chromozentren, wenn sie gut genug identifizierbar sind, sind ebenfalls verdoppelt. Ein durch Endomitose entstandener 4-C-Kern ist größer als ein 2-C-Kern.

Wenn die Mitose angelaufen ist, aber abgebrochen wird, bevor sie ganz beendet ist, entstehen ebenfalls polypleide Zellen. Ihre Kerne nennt man Restitutionskerne (Nagl, 1976). Wenn eine Mitose beispielsweise durch Colchicin gehemmt wird, entstehen solche Restitutionskerne.

### **Endozyklen: Endoreduplikation**

Wenn die DNA repliziert wird, die Chromatiden sich aber nicht trennen und die Chromosomen sich nicht teilen, spricht man von einer Endoreduplikation. Hier fehlen die Zerstückungsphase und die Chromosomen-Kondensation. Im typischen Fall sind die Chromozentren nicht vermehrt, sondern vergrößert (Abb. 3, 17–19). Auch hier ist dann ein 4-C-Kern entstanden, der größer ist als ein 2-C-Kern. Nicht selten folgen mehrere, ja viele Endoreduplikationszyklen aufeinander. Dann gibt es Riesenerkerne.

Die Endoreduplikation wurde erst 1964 von D'Amato entdeckt. Sie spielt bei Pflanzen eine weitaus bedeutendere Rolle als die Endomitose. Man findet sie bei 90% der Angiospermen (Traas et al., 1998). Larkins et al. (2001) halten es daher für angemessen, sie als alternativen Zellzyklus zu bezeichnen.

Wenn die duplizierten Chromatiden gebündelt bleiben, entstehen polytäre Chromosomen. Das bekannteste Beispiel sind die Riesenchromosomen von Dipteren. Aber auch bei Pflanzen gibt es solche polytären Riesenchromosomen, vor allem in Antipoden und Synergiden des Eiapparates und im Suspensor und den Endospermhaustorien des Embryos (Übersicht bei Nagl, 1976). Allerdings ist bei Pflanzen die Bündelung nicht so perfekt wie bei den Dipteren. Bei ihnen ist deshalb das charakteristische Querscheibenmuster nicht oder nur wenig ausgeprägt (Nagl, 1976).

Bei einer Endoreduplikation wird in Ausnahmefällen nicht die gesamte DNA identisch verdoppelt. Das ist dann eine differentielle Endoreduplikation, bei der manche Chromosomenabschnitte, meist heterochromatische, nicht repliziert werden. Bei Pflanzen ist sie selten,

ebenso wie die Extrareplikation von spezifischen Sequenzen (Nagl, 1976). Ein Beispiel dafür ist die Amplifikation von ribosomaler DNA in Oocyten von Amphibien.

### **Die Bedeutung von Endozyklen**

Durch Endomitosen und Endoreduplikation entstehen endopolypleide Kerne. Manche Autoren beschränken den Begriff (Endo-)Polypleidie auf das Ergebnis von Endomitosen und sprechen bei einer Endoreduplikation von Polytänie (Sugimoto-Shirasu und Roberts, 2003). In der Praxis ist es aber oft schwierig oder unmöglich, zwischen Polypleidie und Polytänie im Sinne dieser Autoren zu unterscheiden. Die Grenzen zwischen Restitutionszyklen, Endomitosen und Endoreduplikation sind unscharf. In vielen älteren Publikationen ist meist einfach nur von Endopolypleidie die Rede.

Im „normalen“ Zellzyklus entstehen also mehr Zellen, durch Endozyklen größere Kerne mit mehr DNA. Dadurch kann das Cytoplasma vermehrt werden und die Zelle größer werden. Diese Kern-Cytoplasma-Relation ist schon lange bekannt (Sugimoto-Shirasu und Roberts, 2003). Sie besagt, dass die Menge von Cytoplasma, die eine Zelle enthält, der DNA-Menge im Kern proportional ist. Wenn ein Kern polypleid geworden ist, können mehr Gene exprimiert werden, die Stoffwechselaktivität kann ansteigen, die Zelle kann wachsen. Nagl (1976) und Galbraith et al. (1991) glauben daher, dass Endopolypleidie vor allem bei Pflanzen mit kleinen Genomen vorkommt. Melaragno et al. (1993) und Joubès und Chevalier (2000) bezweifeln allerdings, dass diese Aussage eine allgemeine Gültigkeit hat.

Oft, aber nicht immer, formieren größere Zellen größere Organe und so größere Pflanzen. Das kann man manchmal direkt erkennen, wenn man diploide und nahe verwandte polypleide Pflanzen miteinander vergleicht. Die Küchenzwiebel (*Allium cepa*) hat 16 Chromosomen. Der nahe verwandte Porree 32, also doppelt so viel. Es liegt also eine Art von generativer Polypleidie vor. Porree-Zellkerne im 2-C-Stadium sind deutlich größer als Zwiebel-Zellkerne im 2-C-Stadium. Die Epidermiszellen von Porree-Blättern (Abb. 5–7) sind viel größer als die von Zwiebelblättern (Abb. 8). Die Schließzellen der Spaltöffnungen vom Porree

sind etwa 50 µm lang, die von Zwiebeln nur etwa 32 µm. Es ist kein Zufall, dass Nutzpflanzen oft polyploid sind.

Diese Regeln gelten nicht für Tiere. Diese haben anscheinend ein Kontrollsystem, das die Größe des Individuums unabhängig vom Ploidiegrad bestimmt. Bei Salamandern haben polyploide Individuen größere, aber weniger Zellen und sind deshalb nicht größer (Sugimoto-Shirasu und Roberts, 2003).

### Demonstration von Polyploidie

Wie erkennt man, ob ein Zellkern polyploid geworden ist? Der Ablauf einer Endomitose und, mehr noch, einer Endoreduplikation lässt sich meistens nicht leicht beobachten. Beide Prozesse wurden ja auch erst relativ spät entdeckt. Das Ergebnis, die Vervielfachung der DNA, ist hingegen leichter festzustellen. Polyploide Kerne sind größer als diploide. Allerdings ist das Volumen eines Kernes beispielsweise auch abhängig von seinem Quellungszustand, der Größe der Nukleolen (Abb. 10 und 11) und seiner transkriptionellen Aktivität. Außerdem sind Zellkerne, vor allem dann, wenn sie hoch polyploid sind, oft nicht rundlich, sondern unregelmäßig geformt (Abb. 7 und 19), was eine

Volumenbestimmung sehr erschweren kann. Dennoch ist sie sehr geeignet, um Polyploidie zu erkennen. Dazu empfiehlt sich eine Kernfärbung, am einfachsten mit Karminessigsäure (Schnepf, 2000), am besten nach einer Fixierung mit Carnoy (3 Teile 96% Äthanol, 1 Teil Eisessig). Vorteilhaft ist es dann, wenn die Präparate mit Phenol oder Chloralhydrat aufgehellt werden. Bis auf Abbildung 3 wurden alle hier gezeigten Fotos nach einer solchen Färbung gemacht.

Sehr geeignet sind auch Färbungen mit der Feulgen-Reaktion oder mit dem Fluorochrom 4',6-Diamino-2-Phenylindol (DAPI) (Melnano et al., 1993). Für die DAPI-Färbung löst man 0,005 mg/ml in McIlvaine-Puffer, pH 4,1 und fixiert die Objekte vorher. Beide Färbungen sind DNA-spezifisch. Deshalb lässt sich mit ihnen die DNA-Menge im Kern exakt quantitativ durch mikrospektrophotometrische Messungen bestimmen. Das ist auch mit der Durchfluss-Cytophotometrie möglich. Mit ihr lassen sich leicht viele Kerne analysieren. Sie müssen dazu allerdings isoliert werden.

Weil die volumetrische Bestimmung des Polyploidiegrades ihre Tücken hat, führt Nagl (1976) in einer Tabelle über das Vorkommen von Endopolyploidie bei Angiospermen die nur damit erhaltenen Ergebnisse als n-Werte auf,

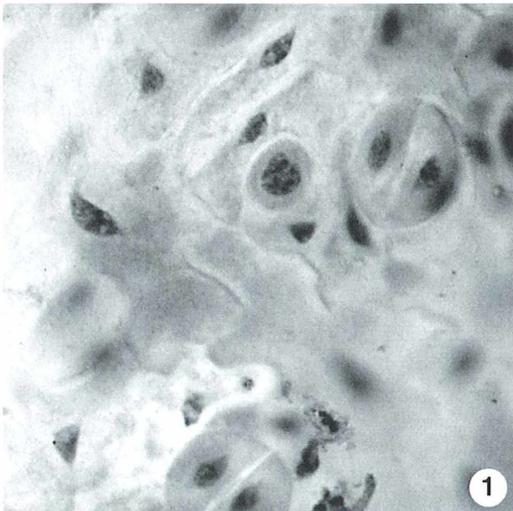
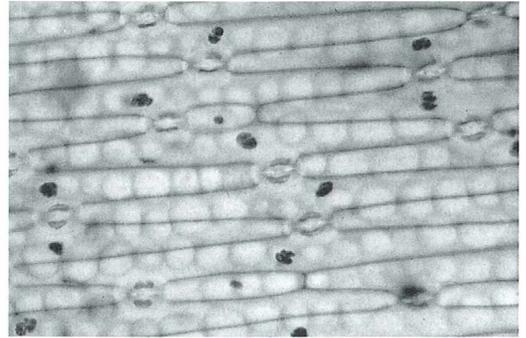


Abb. 1 und 2: *Hesperis matronalis*, Epidermis der Blattunterseite. Vergr. 470fach. – Abb. 1: Sehr junges Blatt. In der Bildmitte eine Spaltöffnungsmutterzelle in der G-2-Phase kurz vor der Teilung mit einem 4-C-Kern. Schließzellen und kleine Pflasterzellen mit 2-C-Kernen, größere Pflasterzelle mit größerem Kern. – Abb. 2: Junges Blatt. Schließzellen und benachbarte kleine Pflasterzellen mit 2-C-Kernen, größere Pflasterzellen mit größeren Kernen.



**Abb. 3:** *Arabidopsis thaliana*, Epidermis der Blattunterseite. Fluorochromierung mit DAPI. Vergr. 850fach. Kleine Zellkerne mit kleinen Chromozentren, größere Zellkerne mit größeren Chromozentren.



**Abb. 4:** Porree, Blattepidermis. Vergr. 115fach. Große Pflasterzellen mit großen Kernen, die selten kleinen Pflasterzellen haben kleine Kerne.

nicht als C-Werte. Dennoch enthält diese Tabelle als Rekordwert das Endospermhaustorium von *Arum maculatum* mit 24576 n. Das ist wohl eine übergenaue Angabe, zumal dieser Wert keine Potenz von 2 ist. Vielleicht liegt ihm eine differentielle Reduplikation zu Grunde. Dadurch wird die Bestimmung des C-Wertes schwierig und eine exakte Aussage darüber ist eigentlich nicht möglich.

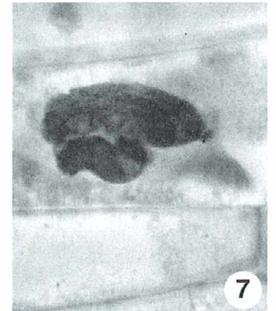
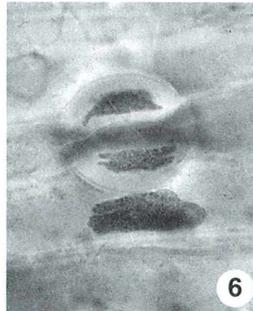
Für alle Methoden gilt: Wo finde ich Kerne mit dem Standard-2-C-Wert? In Meristemen gibt es keine Endozyklen, die Kerne sind aber teilweise in der G-1-Phase (= 2-C-Wert), teilweise in der G-2-Phase (= 4-C-Wert). Schließzellen sind immer relativ klein und ihr Stoffwechsel erfordert nur eine geringe Proteinsynthese. Ihre Kerne

sind immer diploid und bei den meisten Pflanzen in der G-1-Phase, nur bei wenigen in der G-2-Phase (Nagl, 1976). Deshalb eignen sich die Kerne von Schließzellen für Vergleiche besonders gut.

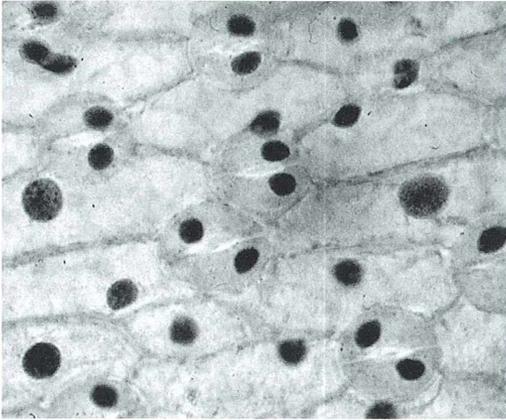
Im Kernvolumen macht sich der Unterschied zwischen Kernen in der G-1- und der G-2-Phase meist kaum bemerkbar. Abbildung 1 zeigt eher eine Ausnahme. Der Kern der Schließzellen-Mutterzelle, der offenbar kurz vor der Mitose steht, ist deutlich größer als die Kerne der Schließzellen.

### **Einfluss von Endopolyploidie auf Zellgröße und -differenzierung bei Angiospermen: Beispiele**

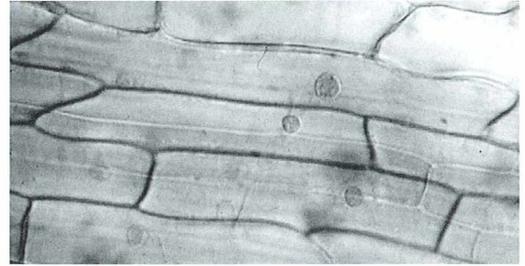
Endopolyploidie ist so verbreitet, dass man sie in fast jeder Pflanze finden kann. Bei Korbblüt-



**Abb. 5–7:** Porree, Blattepidermis. Vergr. 405fach. – Abb. 5: Eine kleine Pflasterzelle mit einem Kern, der so groß ist wie die Kerne der Schließzellen. – Abb. 6: Kern einer großen Pflasterzelle, der größer ist als die Kerne der Schließzellen. – Abb. 7: Sehr großer, gefurchter Kern einer sehr großen Pflasterzelle.



**Abb. 8:** Küchenzwiebel, Epidermis eines etiolierten Blattes. Vergr. 430fach. Kleine Pflasterzellen mit Kernen, die so groß sind wie die Kerne der Schließzellen. Große Pflasterzellen mit größeren Kernen.



**Abb. 9:** *Rumex crispus*, Epidermis der Ochrea. Vergr. 380fach. Die Größe der Zellkerne entspricht der Größe der Zellen.

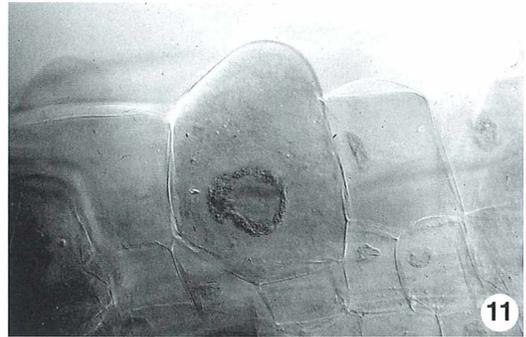
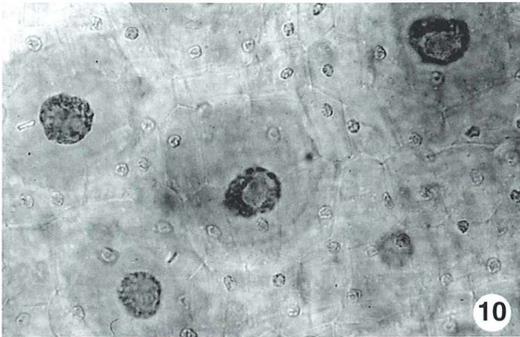
lern und Doldengewächsen ist sie allerdings relativ selten. Nagl (1976) gibt viele Beispiele für Endopolyploidie. Seine Aufzählung ist aber jetzt über 30 Jahre alt und könnte heute beträchtlich erweitert werden. Nach Nagl (1976) sind Markparenchymzellen in Wurzeln und im Stamm (bis 128 C), Haare – besonders Brennhare (bis 256 C) und Antherenhaare (bis 128 C) – Tapetumzellen (bis 16 C), Endospermzellen (Bohne: 96 C, Mais: 24 C und mehr), Zellen von Elaiosomen (*Scilla bifolia* 4096 C) und von Gallen (manche Eichengallen 1024 C) und viele andere Zellen endopolyploid. Im Folgenden soll die Endopolyploidie und ihre Beziehung zur Zellgröße und -differenzierung an einigen besonders leicht zu untersuchenden pflanzlichen Objekten demonstriert werden.

Bei Kreuzblütlern (Brassicaceae) und manchen anderen Familien ist die Blattepidermis nicht nur in normale Epidermiszellen (Pflasterzellen), Schließzellen und Haarzellen differenziert, sondern die Pflasterzellen sind auch verschieden groß. Das zeigt die Epidermis eines jungen Kohlblattes, abgebildet im MIKROKOSMOS (Schnepf, 2006). Bei der Entwicklung der Epidermis entstehen die Schließzellen zuletzt, nach einer Serie von Zellteilungen. Die Zellen, aus denen keine Schließzellen entstehen, hören auf, sich zu teilen. Wenn sie früh aus der Schließzell-Linie ausscheiden, vergrößern sie sich in der Regel und werden zu polyploiden Pflasterzellen. Sie durchlaufen Endozyklen, während sich

die Zellen der Schließzell-Linie weiter teilen. Die Schwesterzellen der Schließzellen bleiben klein und sind meist nur wenig größer als die Schließzellen. Die Abbildung 2 (siehe auch Abb. 1) zeigt das bei dem Kreuzblütler *Hesperis matronalis*, der Nachtkiöle.

Besonders gut untersucht ist die Entwicklung der Blattepidermis von *Arabidopsis thaliana* (Ackerschmalwand, ebenfalls Brassicaceae). *Arabidopsis* ist, unter anderem wegen ihrer geringen DNA-Menge im C-2-Niveau, zur beliebtesten Versuchspflanze der Molekularbiologen geworden. Wegen der kleinen Zellkerne ist sie aber auch weniger gut für karyologische Untersuchungen geeignet. Melaragno et al. (1993) haben die DNA-Menge von *Arabidopsis*-Epidermiszellen mikrospektrometrisch nach Fluorochromierung mit DAPI gemessen. Die ist in den Schließzellen wie im Meristem 2 C. Die Pflasterzellen haben Ploidiegrade von 2 C, 4 C, 8 C und selten von 16 C. Sie bilden gewissermaßen ein Ploidiemosaik, wobei wie bei der Nachtkiöle die unmittelbaren Geschwister der Schließzellen auf dem 2-C-Niveau geblieben sind. Je höher der Ploidiegrad ist, desto größer ist das Zellvolumen und umso älter ist die Zelle. Die Haarzellen auf den *Arabidopsis*-Blättern erreichen Ploidiewerte von 64 C. Durch die Endoreduplikation entstehen polytäre Chromosomen. Das lässt sich an den Chromozentren erkennen. Die Kerne der Schließzellen und der kleinen Pflasterzellen von *Arabidopsis* haben etwa 10 kleine Chromozentren. In den größeren Kernen von polyploiden Pflasterzellen sind die Chromozentren nicht vermehrt, sondern vergrößert (Abb. 3).

Sehr viel regelmäßiger als bei den Brassicaceae ist die Epidermis der Blätter vom Porree (*Allium porrum*) aufgebaut. Aber gelegentlich gibt



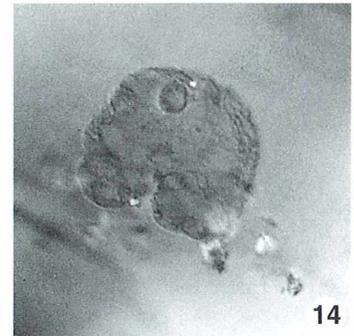
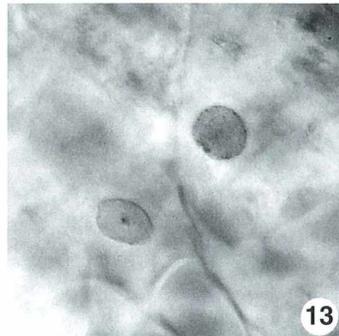
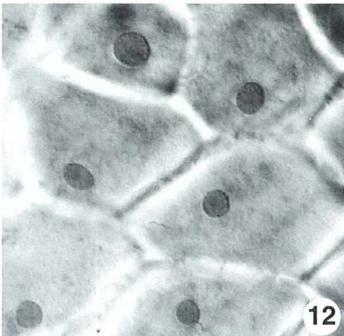
**Abb. 10 und 11: *Hydromystria stolonifera*, Rhizodermis. Vergr. 290fach. Trichoblasten groß mit großen Zellkernen und großen Nukleolen, Atrichoblasten klein mit kleinen Zellkernen. – Abb. 10: Aufsicht auf die Rhizodermis nahe der Wurzelspitze. – Abb. 11: Seitenansicht, sich entwickelndes Wurzelhaar.**

es zwischen den großen, langen Pflasterzellen auch kleine, und diese haben kleine Kerne (Abb. 4), manchmal etwa so groß wie die Kerne von Schließzellen (Abb. 5). Die Kerne von großen Pflasterzellen sind hingegen wesentlich größer als die der Schließzellen (Abb. 6), manchmal sogar fast riesig (Abb. 7). Dann sind sie meist sehr unregelmäßig geformt.

In der Epidermis von Zwiebelblättern (*Allium cepa*) sind die Pflasterzellen und die Schließzellen viel kleiner als beim Porree. Da die Kerne kugelig sind, kann man hier die Zusammenhänge zwischen Kern- und Zellgröße besonders gut erkennen (Abb. 8).

Es ließen sich leicht noch viele andere Beispiele über Endopolyploidie in großen Epidermiszellen bringen. Stellvertretend soll hier nur noch ein Mikrofoto von der Ochrea eines Ampferblattes (*Rumex crispus*) gezeigt werden (Abb. 9).

In der Rhizodermis der Wurzel sind die Zellen in Trichoblasten (bilden Wurzelhaare) und Atrichoblasten (bilden keine Wurzelhaare) differenziert. Obwohl sich das Volumen eines Trichoblasten durch das Auswachsen eines Wurzelhaares sehr stark ausdehnt, vergrößert sich sein Zellkern meist nicht oder nur wenig. Aber es gibt Ausnahmen, beispielsweise bei den Froschbissgewächsen (Hydrocharitaceae). Abbildung 10 zeigt eine Aufsicht auf eine Wurzel von *Limnobium stoloniferum* (= *Trianaea bogotensis*), dem Amerikanischen Froschlöffel und Abbildung 11 eine Seitenansicht mit einem sich entwickelnden Wurzelhaar. Die Trichoblastenzellen und ihre Kerne sind viel größer als die Atrichoblasten. Nach Nagl (1976) beträgt ihr C-Wert 32. Besonders groß sind die Nukleolen. Die Atrichoblasten durchlaufen Zellzyklen, die Trichoblasten Endozyklen.



**Abb. 12–14: Tomate, Frucht. Vergr. 290fach. – Abb. 12: Die Epidermiszellen sind klein und haben kleine Kerne; ein Kern ist etwas größer als die anderen. – Abb. 13.: Die Zellen der Subepidermis sind größer und haben größere Kerne. – Abb. 14: Sehr großer Zellkern aus einer sehr großen Perikarpzelle.**

Viele Früchte enthalten sehr große Zellen, die Speicherzellen. Die kleinen Epidermiszellen einer reifen Tomate (*Solanum lycopersicum*) mit ihren kleinen Kernen werden in Abbildung 12 gezeigt. Die subepidermalen Zellen sind größer, ihre Kerne auch (Abb. 13). Im Inneren des Perikarps gibt es riesige Zellen mit riesigen Kernen (Abb. 14). Diese sind meist mehr oder weniger gefurcht oder sogar gelappt, gelegentlich auch unregelmäßig spindelförmig ausgezogen. Im Perikarp und im Fruchtfleisch variieren Zell- und Kerngröße beträchtlich. Joubès und Chevalier (2000) berichten von C-Werten, die mit Durchfluss-Photometrie ermittelt wurden. Sie betragen in der Epidermis 2 C, selten 4 C, sehr selten 8 C (siehe die unterschiedlichen Kerngrößen in Abb. 12), und reichen im Perikarp von 2 C bis 64 C, selten bis 256 C. Dabei besteht eine Korrelation zwischen Endoreduplikation und Zellexpansion durch Vakuolisierung. Auch in einer durch Vakuolisierung stark vergrößerten Zelle ist in der Regel mehr Cytoplasma als in einer kleinen.

Ähnlich wie in Früchten gibt es im Wasserspeichergewebe von sukkulenten Pflanzen riesige Zellen mit großen Vakuolen und sehr großen Kernen. Ein Beispiel von vielen möglichen: Das Blatt einer Aloe (*Aloe jucunda*). Die 2-C-Kerne der Schließzellen sind wie die der Pflasterepidermiszellen klein (Abb. 15). In den großen Wasserspeicherelementen sind sie sehr viel größer (Abb. 16).

Hingewiesen sei auch noch auf die im MIKROKOSMOS (Schnepf, 2007) publizierten Abbildungen der Zellkerne von Raphidenidioblasten aus dem Beerenperikarp des Aronstabs (*Arum maculatum*) (siehe auch Kausch und Horner, 1984: Raphidenidioblasten von *Vanilla*). Nicht immer haben Raphidenzellen große Kerne. Im Spadix-Appendix des Aronstabs sind sie nicht besonders groß.

### Endopolyloidie und Zelltod

Was wird aus den endopolyptoiden Kernen, wenn die Zelle altert und stirbt? Die beiden seitlichen Blütenblätter des Gartenstiefmütterchens haben an ihrer Basis große, einzellige, zottenartige Haare. Ihre Kerne sind verschieden groß, aber fast immer größer als die Kerne im Parenchym (Abb. 17), deren Chromozentren recht klein sind. In den Zotten von sehr jungen Blüten sind die Kerne meist mehr oder weniger

kugelig. Sie können aber auch leicht gelappt sein (Abb. 18) und haben besser erkennbare Chromozentren. In voll eröffneten Blüten sind die Kerne meist noch größer und ihre Form noch unregelmäßiger (Abb. 19). Die Chromozentren sind ebenfalls noch größer. Es handelt sich also auch hier um eine Polyploidisierung durch Endoreduplikation. Wenn die Blüte altert und welkt, „vakuolisieren“ die Kerne der Zotten und verschrumpeln schließlich zu winzigen, unregelmäßig geformten Gebilden, die sich aber immer noch gut anfärben lassen (Abb. 20), oder sie fragmentieren. Bei diesen degenerierenden Kernen sind die Chromozentren nicht mehr erkennbar.

Dieser Ablauf gleicht in vielen Details den Veränderungen in welkenden Blütenblättern von *Antirrhinum*, *Argyranthemum* und *Petunia*, die vor kurzem von Yamada et al. (2006) beschrieben wurden. In diesen Blütenblättern gibt es keine Riesenkern. Wenn sie altern, setzt der programmierte Zelltod ein noch bevor sie welken. Die DNA wird abgebaut, wohl durch Apoptose-ähnliche Prozesse. Beim Löwenmäulchen bilden sich im Zellkern mehrere DNA-Klumpen. Bei *Argyranthemum* und *Petunia* fragmentiert der Kern (siehe hierzu auch den MIKROKOSMOS-Artikel von Schnepf, 2002b).

### Endopolyloidie und Zellgröße: Schlussfolgerungen

Schon diese wenigen Beispiele und weitere Daten aus der Literatur zeigen, dass das Kernvolumen und der Endopolyloidie-Grad weitgehend proportional sind. Das gilt aber nicht uneingeschränkt für das Verhältnis von Endopolyloidie-Grad und Zellgröße. Bei *Arabidopsis*

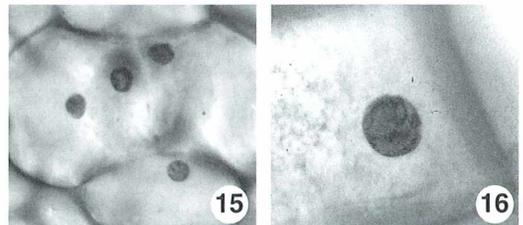


Abb. 15 und 16: *Aloe jucunda*, Blatt. Verg. 290fach. – Abb. 15: Kleine Zellkerne in den Schließzellen und Pflasterzellen der Blattunterseite. – Abb. 16: Sehr großer Zellkern einer sehr großen Wasserspeicherelemente.

kann eine Haarzelle mit einem 32-C-Kern fünf-hundertfach so groß wie eine 2-C-Schließzelle sein (Sugimoto-Shirasu und Roberts, 2003). Das Zellvolumen wird hier wie auch bei den Wasserspeicherzellen von Sukkulenten, bei den großen Zellen im Tomaten-Perikarp und bei vielen anderen Pflanzenzellen stark durch die Entwicklung einer großen Vakuole mitbestimmt. Manche Zwergmutanten von *Arabidopsis* haben wegen Defekten im Hormongleichgewicht oder in der Zellwandbiosynthese kleinere Zellen, obwohl sie im Ploidiemuster dem Wildtyp gleichen (Sugimoto-Shirasu und Roberts, 2003).

Welche Vor- und Nachteile hat die Endopolyploidie? Von Vorteil ist vielleicht, dass Endozyklen kürzer als normale Zellzyklen sein können (Nagl, 1976). Der Stoffwechsel ist in endopolyploiden Zellen meist intensiver als in normalen. Er ist in einer großen Zelle wohl auch besser zu koordinieren als in vielen kleinen (Nagl, 1976; Galbraith et al., 1991). Dennoch sind die nicht sehr großen Schwamm- und Pali-

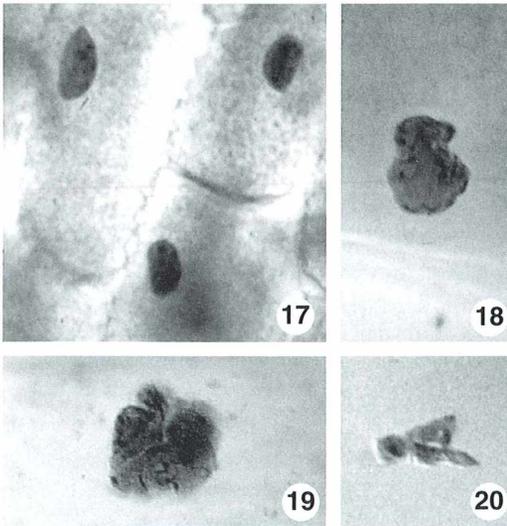
sadenzellen des Assimilationsparenchyms meist nicht oder nur wenig polyploid. Ist hier eine Koordination weniger notwendig, und ermöglichen die zahlreichen Zellwände eine geeignete Positionierung zum Licht?

### **Endopolyploidie und Zelldifferenzierung: Schlussfolgerungen**

Wie schon oben gesagt, werden Zellkerne bei Pflanzen fast immer durch Endoreduplikation, nicht durch Endomitosen endopolyploid. Zellen mit endopolyploiden Kernen teilen sich aber mitotisch nur noch sehr selten, und wenn überhaupt nur mit Verzögerung (D'Amato, 1977). Bopp et al. (1980) haben die Regeneration von Protoplasten aus dem Protonema von *Funaria hygrometrica* untersucht. Das Protonema dieses Mooses ist eigentlich haploid. Es gibt aber auch diploide und polyploide Zellen, wobei unbekannt ist, ob hier die DNA durch Restitutionszyklen, Endomitosen oder Endozyklen vermehrt ist. Bei den Regenerationsversuchen entwickelten sich einige Protonemen sehr unregelmäßig und blieben klein. Diese Protonemen waren polyploid.

Im Parenchym von unverletzten Sprossen der Pflanzebohne (*Vicia faba*) teilen sich nur 2-C-Kerne. Eine Verwundung induziert auch Mitosen bei polyploiden Kernen. Diese setzen aber stark verzögert ein. Wenn die Verwundung mit einer Infektion durch *Agrobacterium tumefaciens* gekoppelt ist und ein Tumor entsteht, teilen sich mehr polyploide Kerne, und die Mitose läuft schneller ab. In der Prophase dieser Mitosen bestehen die Chromosomen dann nicht aus zwei Chromatiden, sondern aus vier oder acht (Kupila-Ahvenniemi und Therman, 1974). Nagl (1976) vermutet, dass die Polyploidie eine Folge von Restitutionszyklen ist.

Da sich Zellen mit polytären Chromosomen anscheinend nicht mehr teilen (können), zumindest nicht bei höheren Ploidiegraden, sind also endopolyploide Pflanzenzellen in ihren Entwicklungspotenzen weitgehend eingeschränkt. In der Regel vermehren sie sich nicht weiter, sondern vergrößern sich nur noch (Melargano et al., 1993; Joubès und Chevalier, 2000). Der Schalter, der zwischen Mitose und Endoreduplikation entscheidet, entscheidet also über einen bedeutenden Schritt im Differenzierungsprogramm von Pflanzen (Traas et al., 1998).



**Abb. 17–20: Stiefmütterchen, Blüte. Vergr. 650fach. – Abb. 17: Parenchymzellen mit kleinen Kernen und kleinen Chromozentren. – Abb. 18: Großer Zellkern in einer Zotte einer sich gerade öffnenden Blüte mit deutlicheren Chromozentren – Abb. 19: Sehr großer Zellkern in einer Zotte einer voll eröffneten Blüte mit sehr deutlichen Chromozentren. – Abb. 20: Degenerierender Zellkern in einer Zotte einer alternden, welken Blüte; Chromozentren sind nicht mehr erkennbar.**

Bei der Differenzierung der *Arabidopsis*-Epidermis kommt es quasi zu einer Aufteilung der Zellpopulation in Stammzellen, die omnipotent bleiben und aus denen dann bei einer ungestörten Entwicklung schließlich einerseits Schließzellen und die kleinen, den Schließzellen benachbarten 2-C-Pflasterzellen werden und andererseits die polyploiden Pflasterzellen und die Haarzellen. Das beeinflusst vermutlich auch das Verteilungsmuster der Stomata (Melaragno et al., 1993), aber auch die Regenerationsfähigkeit. Die durch Endoreduplikation polyploid gewordenen Pflasterzellen fallen für Regenerationsprozesse und für Zellteilungen bei der Wundheilung weitgehend aus. Es ist wohl kein Zufall, dass die Kerne in den Epidermis-Pflasterzellen von *Tradescantia*-Blättern etwa so groß sind wie die Kerne in den Schließzellen (Schnepf, 2002b). Sie sind demnach nicht polyploid, und sie teilen sich ohne weiteres bei der Wundkorkbildung (Schnepf, 2002a).

Zellen in Pflanzen, die genetisch polyploid geworden sind oder durch Behandlung mit Colchicin oder durch Endomitosen, können sich natürlich mitotisch teilen, wenn sie dem 2-C-Typ entsprechen. Sie haben ja keine polytären Chromosomen, sondern mehr Chromosomen. Für die Restitutionskerne in den Bakterien-Tumoren gilt das nur mit Einschränkungen

### Kontrolle der Endoreduplikation

Die Endoreduplikation wird durch die genetische Ausstattung der Pflanze sowie durch Umweltfaktoren, Hormone (Libbenga and Torrey, 1972; Mohamed und Bopp, 1980; Gendreau et al., 1999), und somit durch ihr ganzes Entwicklungsprogramm kontrolliert (Joubès und Chevalier, 2000). Das Hypokotyl von *Arabidopsis* besteht aus einem Arrangement von Zellen, das schon bei der Embryogenese angelegt ist. Bei der Keimung vergrößern sich diese Zellen, das Hypokotyl streckt sich. Das Ausmaß der Streckung (Zellvergrößerung) wird durch Umwelteinflüsse und innere Signale reguliert. Im Dunkeln etiiert das Hypokotyl, es streckt sich stark. Dabei machen dann die Hypokotylzellen einen zusätzlichen Endoreduplikationsschritt durch (Gendreau et al., 1997; Sugimoto-Shirasu und Roberts, 2003). Beim Epikotyl von Erbsen wirkt Dunkelheit genauso (van Oostveldt und van Parijs, 1975; Mohamed und Bopp, 1980).

Dieser Endoreduplikationszyklus wird also durch Licht gehemmt. Das ist aber nicht einfach die Folge eines Rückkopplungsmechanismus, der die Zahl der Zyklen mit dem Zellvolumen verbindet, sondern ein integrierter Teil des durch Phytochrom kontrollierten morphogenetischen Programms (Joubès und Chevalier, 2000). Wuchsstoffe wie Kinetin, Gibberellin und Äthylen beeinflussen aber wohl die Entwicklung ganz allgemein und haben nur einen indirekten Einfluss auf die Endoreduplikation. Dabei scheint dieser Einfluss bei diploiden und (generativ) polyploiden Pflanzen gleich zu sein (Joubès und Chevalier, 2000).

Die molekulare Kontrolle der Endoreduplikation ist besonders intensiv bei *Arabidopsis* untersucht, und hier vor allem bei der Entwicklung der Haare auf den Blättern. Diese sind beim Wildtyp einzellig und verzweigt. Nach Imai et al. (2006) haben sie 32-C-Kerne. Melaragno et al. (1993) geben allerdings Ploidiewerte von 4 C bis 64 C an. Es gibt zahlreiche *Arabidopsis*-Mutanten, bei denen die Zahl der Endoreduplikationszyklen vermehrt oder verringert ist. Eine Liste von Sugimoto-Shirasu und Roberts (2003) umfasst etwa 20 Beispiele. Meistens ist bei veränderter Endopolyploidie auch die Entwicklung der Haare verändert. Es gibt sogar Haare, bei denen die Zellen mitotische Zellzyklen anstelle von Endoreduplikationszyklen durchlaufen. Dadurch entstehen dann mehrzellige Haare (Imai et al., 2006).

Der mitotische Zellzyklus wird im Wesentlichen durch heterodimere Proteinkomplexe reguliert. Sie bestehen aus einer katalytischen Untereinheit, einer Cyclin-abhängigen Proteinkinase (CDK = cyclin dependent kinase) und einer regulatorischen Untereinheit, einem Cyclin. Cycline sind Proteine, die stadienspezifisch im Zellzyklus auftreten. Ihre Synthese wird unter anderem durch Hormone gesteuert. Dabei wird die Transkription von spezifischen Cyclin-Genen moduliert und die RNA auch translational reguliert (Larkins et al., 2001). Die Cycline werden durch das Ubiquitin-Proteasom-System abgebaut (Joubès und Chevalier, 2000). Durch den Auf- und Abbau kann die Menge eines spezifischen Cyclins genau eingestellt werden. Mitotische Cycline erreichen beispielsweise ihr Maximum beim Übergang von der G-2- in die M-Phase (Larkins et al., 2001).

Bei Pflanzen waren im Jahr 2000 etwa 30 CDKs identifiziert. Diese werden in fünf Klassen aufgeteilt (CDKA-CDKE). Die CDKAs

werden im ganzen Zellzyklus exprimiert und erlauben der Zelle, sich zu teilen. Die CDKBs sind anscheinend wichtig für die Mitose. Über die drei anderen CDK-Klassen weiß man noch nicht sehr viel (Joubès und Chevalier, 2000).

Die Effektivität der CDK/Cyclin-Heterodimere in der Zelle wird durch Phosphorylierungen und Dephosphorylierungen, durch die Verfügbarkeit der beiden Partner, besonders durch die Synthese und den Abbaus des Cyclins, und durch ihre Bindung an Aktivatoren und Inhibitoren moduliert (Joubès und Chevalier, 2000). Es wird vermutet, dass CDKA schnell durch die Dephosphorylierung von Thyrosin aktiviert werden kann, was für den Eintritt in die Mitose wichtig ist.

Bei einer Endoreduplikation, wenn also die Mitose ausbleibt, werden wohl mitotische CDK/Cyclin-Komplexe inaktiviert. Beispielsweise ist die Aktivität der Histon H1-Kinase, die eine Schlüsselrolle bei der Kondensation der Chromosomen in der Prophase spielt, bei einer Endoreduplikation stark reduziert (Joubès und Chevalier, 2000). Inaktiviert werden könnten diese Komplexe, wie oben erwähnt, unter anderem durch Änderung ihrer Phosphorylierung. Der Protein-Kinase-Inhibitor K-252a erhöht in *Phaseolus*-Zellkulturen den Ploidiegrad bis 2048 C (Nagl, 1993).

Wie werden die Endoreduplikationszyklen beendet? Das haben Imai et al. (2006) untersucht, wie in der Einführung zu diesem Artikel erwähnt wurde. Sie fanden, dass CYCA2;3, ein A-Typ-Cyclin, eine Schlüsselrolle bei der Regulation des Ploidiegrades bei *Arabidopsis* spielt. Der Promotor des Gens für dieses Cyclin ist aktiv, wenn die Endozyklen in sich entwickelnden Haaren und im Gewebe aufhören. Bei Null-Mutationen des Gens ist der Ploidiegrad in sich differenzierenden Zellen erhöht, die Zahl der endopolyploiden Zellen aber unverändert.

Die molekularen Untersuchungen haben erste Einblicke in den Ablauf der Endoreduplikation und ihre Kontrolle gebracht. Vieles ist noch unklar, ähnlich wie bei den Zusammenhängen zwischen Endoreduplikation, Zellgröße und Zelldifferenzierung. Die Ergebnisse dieser Prozesse sind hingegen vergleichsweise gut zu beobachten.

### Literaturhinweise

Bopp, M., Zimmermann, S., Knoop, B.: Regeneration of protonema with multiple DNA content

- from isolated protoplasts of the moss *Funaria hygrometrica*. *Protoplasma* 104, 119–127 (1980).
- D'Amato, F.: Endopolyploidy as a factor in plant tissue development. *Caryologia* 17, 41–52 (1964).
- D'Amato, F.: Cytogenetics of differentiation in tissue and cell cultures. In: Reinert, J., Bajaj, Y. P. S. (eds.): *Plant cell, tissue and organ culture*, pp. 343–357. Springer Verlag, Berlin 1977.
- Galbraith, D. W., Harkins, K. R., Knapp, S.: Systemic endopolyploidy in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiol.* 96, 985–989 (1991).
- Geitler, L.: Die Entstehung der polyploiden Somakerne der Heteropteren durch Chromosomenteilung ohne Kernteilung. *Chromosoma* 1, 1–22 (1939).
- Gendreau, E., Traas, J., Desnos, T., Grandjean, O., Caboche, M., Höfte, H.: Cellular basis of hypocotyl growth in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiol.* 114, 295–305 (1997).
- Gendreau, E., Höfte, H., Orbovic, V., Traas, J.: Gibberellin and ethylen control endoreduplication levels in the *Arabidopsis thaliana* hypocotyls. *Planta* 209, 513–516 (1999).
- Imai, K. K., Ohashi, T., Tsuge, T., Yoshizumi, T., Matsui, M., Oka, A., Aoyama, T.: The A-type cyclin CYCA2;3 is a key regulator of ploidy levels in *Arabidopsis* endoreduplication. *Plant Cell* 18, 382–396 (2006).
- Joubès, J., Chevalier, C.: Endoreduplication in higher plants. *Plant Mol. Biol.* 43, 735–745 (2000).
- Kausch, A., P., Horner, H. T.: Increased nuclear DNA content in raphide idioblasts during development in *Vanilla planifolia* L. (Orchidaceae). *Eur. J. Cell Biol.* 33, 7–12 (1984).
- Kupila-Ahvenniemi, S., Therman, E.: DNA synthesis, mitosis and ploidy of dividing cells in early crown gall. *Physiol. Plant.* 32, 122–127 (1974).
- Larkins, B. A., Dilkes, B. P., Dante, R. A., Coeelho, C. M., Woo, Y.-M., Liu, Y.: Investigating the hows and whys of DNA endoreduplication. *J. Exp. Bot.* 52, 183–192 (2001).
- Libbenga, K. R., Torrey, J. G.: Hormone induced endoreduplications prior to mitosis in cultured pea root cells. *Am. J. Bot.* 60, 293–299 (1973).
- Melaragno, J. E., Mehrotra, B., Coleman, A. W.: Relationship between endopolyploidy and cell size in epidermal tissue of *Arabidopsis*. *Plant Cell* 5, 1661–1668 (1993).
- Mohamed, Y., Bopp, M.: Distribution of polyploidy in elongating and non-elongating shoot axis of *Pisum sativum*. *Z. Pflanzenphysiol.* 98, 25–33 (1980).
- Nagl, W.: Zellkern und Zellzyklen. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart 1976.
- Nagl, W.: Induction of high polyploidy in *Phaseolus* cell cultures by the protein kinase inhibitor K-252a. *Plant Cell Rep.* 12, 170–174 (1993).
- Schnepf, E.: Chromosomenfärbungen – Was man von der Kernteilung wissen sollte und wie man sie problemlos sichtbar machen kann. *Mikrokosmos* 89, 249–254 (2000).
- Schnepf, E.: Die Traumatotaxis der Zellkerne in *Tradescantia*-Blättern. *Mikrokosmos* 91, 313–315 (2002a).
- Schnepf, E.: Die Kieselzellen in Epidermen von *Tradescantia* und ihre Entwicklung: Programmierter Zelltod. *Mikrokosmos* 91, 377–384 (2002b).

# Keiner klebt so stark wie *Caulobacter*

Annett Burzlaff

Wenn es darum geht Lebensräume zu erschließen, leisten Bakterien Pionierarbeit. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um natürliche Lebensräume wie einen See oder künstlich geschaffene wie Wasserleitungssysteme, Innenwände von Duschschläuchen oder Kathetern, Tanks oder Laderäume von Schiffen handelt. Ein einzelnes Bakterium ist zwar nur wenige Mikrometer groß und kann wenig ausrichten, im Verbund mit Millionen von Artgenossen jedoch können Bakterien riesige Flächen von vielen Quadratmetern bedecken. Man spricht dann vom Biofilm. In diesem Artikel geht es um ein besonderes Bakterium mit verblüffenden Eigenschaften: *Caulobacter crescentus*.

Voraussetzung für die Bildung eines Biofilms ist, dass sich einzelne Bakterienzellen auf dem Untergrund festsetzen können und mit wachsender Individuenzahl schließlich den Grund wie ein Rasen bewachsen. *Caulobacter crescentus* ist ein solches Bakterium, das fast überall in aquatischen Lebensräumen vorkommt.

## Vom Schwärmer zum Siedler

Es durchläuft zwei Phasen in seinem Leben: Erst treibt *Caulobacter crescentus* als motiler Schwärmer im Wasser umher, lässt sich dann auf einem Untergrund nieder und wandelt sich in die sesshafte Form um. Dabei bildet die Zelle einen Stiel aus, an dessen Ende eine Haftscheibe sitzt, die festen Kontakt zum Substrat herstellt. Die Wasserströmung kann die sesshaft gewordene Zelle nun nicht mehr fortreißen. Die Grundlage für den Biofilm ist geschaffen. Einen derartigen dimorphen Lebenszyklus durchlaufen viele aquatisch lebende Pro- und Eukaryoten. Das Besondere an *C. crescentus* ist die enorme und bislang in der Natur noch nicht bekannte Klebkraft dieser Bakterienzelle. Selbst ein starker Wasserstrahl ist nicht in der Lage, diese Bakterien von ihrer Unterlage fortzureißen. Wie schafft *Caulobacter crescentus* das?

## Wie stark ist *Caulobacter crescentus*?

Um die Adhäsionskraft sessiler Mikroorganismen zu messen, gibt es bereits einige etablierte Methoden. Sie alle jedoch scheiterten bei *C.*

*crescentus*. Weder Experimente mit Wasserströmungen in Durchflusskammern noch Laserpinzetten oder Manipulationen mit der Spitze eines Rasterkraftmikroskops entwickelten genügend Kraft, um dieses Bakterium von seiner Unterlage zu reißen. Tsang et al. (2006) konstruierten daher eine besondere Versuchsanordnung, um *Caulobacter* von seiner Unterlage loszureißen. Sie kultivierten das Bakterium in einem Medium, dem sie dünne, flexible Mikropipetten (Durchmesser 2  $\mu\text{m}$ ) beileigten. Nach zwei Tagen hatten die *Caulobacter*-Zellen Stiele ausgebildet und sich mit einer Haftscheibe auf der Oberfläche der Mikropipette

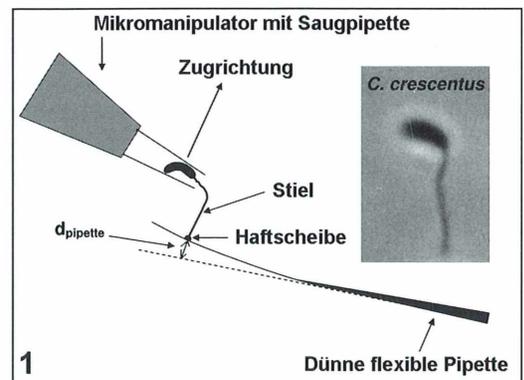
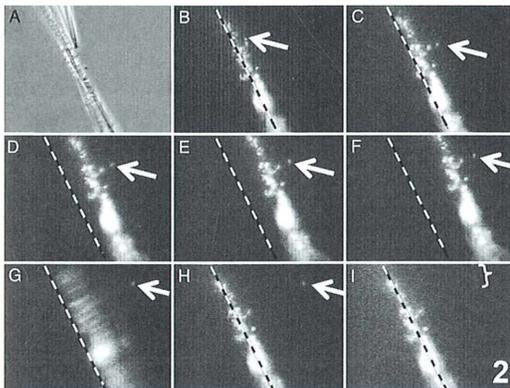


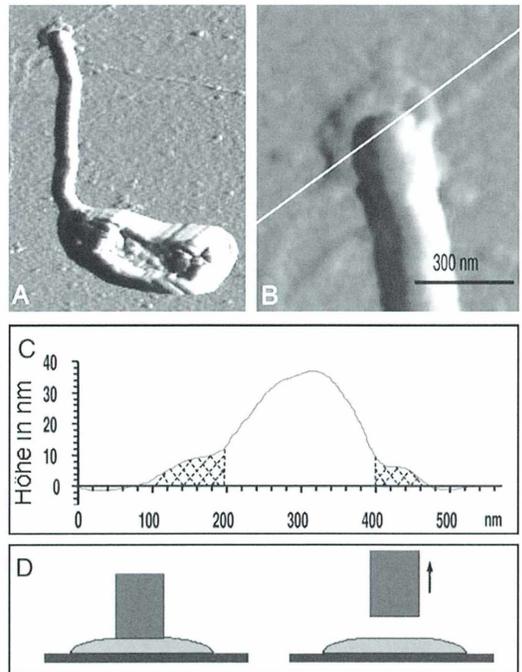
Abb. 1: Eine einzelne Zelle sitzt auf der dünnen flexiblen Mikropipette auf. Das Bakterium wird von der Saugpipette gehalten. Ein Mikromanipulator hebt die Saugpipette an und übt damit solange Zug auf die Haftscheibe der Bakterienzelle aus, bis diese abreißt (aus Tsang et al., 2006). Copyright (2006) National Academy of Sciences, U.S.A.

angeheftet. Im nächsten Schritt saugten Tsang et al. mit Hilfe einer Pipette ein einzelnes, auf der flexiblen Mikropipette siedelndes Bakterium an. Sie bauten so viel Saugkraft auf, dass die Bakterienzelle in der Saugpipette gehalten wurde, der Stiel aus der Saugpipettenöffnung herausführte und über die Haftscheibe mit der flexiblen Mikropipette verbunden war. Sie hoben nun die Saugpipette über einen Mikromanipulator an und begannen damit, Zug auf das Bakterium auszuüben. Je stärker die Zugkraft wurde, desto mehr verbog sich die flexible Mikropipette, an der *Caulobacter crescentus* mit seiner Haftscheibe aufsaß. Mit steigender Zugkraft verbog sich die Mikropipette so lange, bis das Bakterium schließlich abbriss. Dies ist der entscheidende Punkt im Experi-



**Abb. 2:** Bildserie des Experiments. A: Phasenkontrastbild der flexiblen Pipette (von unten rechts kommend) und der Saugpipette (von oben links kommend). B–I: Fluoreszenzbilder der mit Nano-Orange gefärbten Bakterienzelle (Zellkörper, Stiel und Haftscheibe). C–F: Die Saugpipette wird über den Mikromanipulator angehoben und übt Zug auf das Bakterium aus. Der Pfeil deutet auf das Bakterium in der Saugpipette. Deutlich ist die Verbiegung der dünnen Mikropipette erkennbar (Differenz zwischen der Pipette und der gestrichelten Linie). G: Die Verbindung des Bakteriums zur Mikropipette reißt auf Grund der Zugkraft. Die Mikropipette fällt in ihre Ausgangsposition zurück (Bewegung ist an der Unschärfe der Pipette erkennbar). H: Der Pfeil deutet auf die Bakterienzelle in der Saugpipette, die Mikropipette ist wieder in ihrer Ausgangsposition. I: Die Bakterienzelle verschwindet samt ihrem Stiel in der Saugpipette (aus Tsang et al., 2006). Copyright (2006) National Academy of Sciences, U.S.A.

ment. Wie viel Kraft benötigt man, um das Bakterium abzureißen? Tsang et al. ermittelten die notwendige Kraft, indem sie die Ablenkung der flexiblen Mikropipette mit Hilfe eines Rasterkraftmikroskops bestimmten. Das Ergebnis versetzte das Forscherteam in Erstaunen: Umgerechnet auf  $\text{mm}^2$  entwickelt *Caulobacter* eine Adhäsionskraft von  $68 \text{ N/mm}^2$ . Würde man eine Fläche von  $1 \text{ cm}^2$  mit den Haftscheiben von *Caulobacter* bedecken, so könnte man  $680 \text{ kg}$  (zum Beispiel eine Kuh) daran aufhängen!



**Abb. 3:** A: *Caulobacter crescentus* mit einem Rasterkraftmikroskop aufgenommen. Das Bakterium hat sich auf einem Deckglas angeheftet. Deutlich ist die Bakterienzelle mit ihrem Stiel und der Haftscheibe zu erkennen (Scanbereich:  $3 \mu\text{m} \times 2,4 \mu\text{m}$ ). B: Vergrößerte Darstellung der Haftscheibe. Entlang der weißen Linie erfolgt die Höhenmessung. C: Höhenprofil der Haftscheibe. Der Haftscheibendurchmesser lag bei 18 gemessenen Zellen durchschnittlich bei  $411 \text{ nm}$ . D: Reißt die Bakterienzelle von ihrem Glassubstrat ab, so reißt die Verbindung zwischen Stiel und Haftscheibe. Die Haftscheibe selbst bleibt mit dem Substrat verbunden (aus Tsang et al., 2006). Copyright (2006) National Academy of Sciences, U.S.A.

Doch damit noch nicht genug: Mit mikroskopischen Untersuchungen fand das Forscherteam heraus, dass sich in den Experimenten nicht die Haftscheibe vom Untergrund löste, sondern entweder der Bakterienstiel brach oder die Verbindung zwischen dem Bakterienstiel und der Haftscheibe. Das heißt, die Adhäsionskraft der Haftscheibe war noch nicht ausgereizt und dürfte noch deutlich über dem beschriebenen Wert liegen.

Was macht dieses Bakterium so stark? Die einzige bislang charakterisierte Komponente der Haftscheibe ist ein Zuckerderivat (N-Acetyl-Glucosamin-Polymer = GlcNAc). Behandelten Tsang et al. die Bakterien mit Lysozym (einem z. B. in der Tränenflüssigkeit natürlich vorkommenden Antibiotikum), schrumpfte die Adhäsionskraft dramatisch. Lysozym zerschneidet die GlcNAc-Polymere. Die GlcNAc-Polymere spielen damit offensichtlich eine essentielle Rolle für die Klebkraft.

### ***Caulobacter-Kleber ist in der Natur bislang unübertroffen***

Eine Adhäsionskraft von 68 N/mm<sup>2</sup> konnte bislang noch für kein anderes biologisches System nachgewiesen werden. Zum Vergleich: Für Hefezellen konnten Bowen et al. (1998) eine Adhäsionskraft von 0,3 N/mm<sup>2</sup> nachweisen. Bislang galt die Adhäsionskraft von Geckofüßen als eine der stärksten in der Natur. Die Unterseite der Zehen von Geckos sind mit Hunderttausenden von Setae bedeckt, feine haarähnliche Strukturen, etwa zehnmal feiner als ein menschliches Haar. Jede Seta spaltet sich an ihrem Ende in viele Blättchen auf. Die Adhäsionskraft einer einzelnen Seta liegt bei 10 N/mm<sup>2</sup> (Autumn et al., 2000, 2002). Der Gecko besitzt rund 1 Milliarde solcher Setae, die ihm gestatten, sich senkrecht oder kopfüber auf Flächen zu bewegen.

### ***Ist Caulobacter stärker als Chemiekleister?***

Auch Chemiker bemühen sich um Klebstoffe mit möglichst hoher Klebkraft. Ein direkter Vergleich zwischen den Versuchsergebnissen

von Tsang et al. und den Herstellerangaben zur Klebkraft chemischer Kleber ist nicht möglich. Tsang et al. haben die reine Zugfestigkeit von *Caulobacter* ermittelt: Die Bakterienzelle musste einer Zugkraft, aber keiner Scherkraft widerstehen. Die Klebkraft chemischer Klebstoffe wird dagegen in Zugscherfestigkeit (N/mm<sup>2</sup>) gemessen. Das heißt, dass die Klebverbindung nicht nur einer Zugkraft, sondern gleichzeitig auch einer Scherkraft ausgesetzt wird. Dies beansprucht die Klebverbindung mehr als eine reine Zugkraft. Für Pattex (kalt abbindend) liegt die Zugscherfestigkeit bei 20° C bei 7 N/mm<sup>2</sup>, für Technicoll 8258 (kalt abbindend) 33 N/mm<sup>2</sup>. Heiß abbindende Klebstoffe erreichen eine Zugscherfestigkeit bei 20°C bis etwa 40 N/mm<sup>2</sup> (Roloff und Matek, 2001).

Diese Werte stehen der Zugkraft von 68 N/mm<sup>2</sup> von *Caulobacter* gegenüber. Wozu braucht *C. crescentus* diese ungewöhnlich starke Klebkraft? Wie genau sieht der Chemismus des bakteriellen Klebers aus? Lässt er sich als Biokleber nutzen? Hier öffnet sich Raum für viele weitere Experimente.

### ***Literaturhinweise***

- Autumn, K., Liang, Y. A., Hsieh, S. T., Zesch, W., Chan, W. P., Kenny, T. W., Fearing, R., Full, R. J.: Adhesive force of a single gecko foot-hair. *Nature* 405, 681–685 (2000).
- Autumn, K., Sitti, M., Liang, Y. A., Peattie, A. M., Hansen, W. R., Sponberg, S., Kenny, T. W., Fearing, R., Israelachvili, J. N., Full, R. J.: From the cover: Evidence for van der Waals adhesion in gecko setae. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99, 12252–12256 (2002).
- Bowen, W. R., Hilal, N., Lovitt, R. W., Wright, C. J.: An atomic force microscopy study of the adhesion of a silica sphere to a silica surface – effects of surface cleaning. *Colloids Surf. A* 136, 231–234 (1998).
- Roloff, H., Matek, W.: *Maschinenelemente Tabellen*. 15. Auflage, Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden 2001.
- Tsang, P. H., Guanglai, L., Brun, Y. V., Freund, L. B., Tng, J. X.: Adhesion of single bacterial cells in the micronewton range. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103, 5764–5768 (2006).

*Verfasser:* Dr. Annett Burzlaff, Sirona Dental Service GmbH, Fabrikstr. 31, 64625 Bensheim

## Ein rätselhafter kugelförmiger Einzeller aus dem Mittelmeer

Es ist wieder mal ein Mikro-Ufo gesichtet worden. Unser Leser und Autor Rudolf Drews mikroskopierte während eines Aufenthalts am Mittelmeer begeistert Planktonproben und entdeckte dabei ein ihm unbekanntes Wesen. Wie immer, hoffen wir diesbezüglich auf Tipps aus der Leserschaft. Herr Drews beschreibt seinen Fund wie folgt:

Als Zoologe meint man doch, ein Lebewesen, das einem begegnet, einigermaßen einordnen zu können. Ein Planktonfang zeigte aber, dass es in dieser Hinsicht immer Überraschungen geben kann. In einer Planktonprobe von der Südküste Mallorcas im Herbst 2006 fiel ein Organismus etwa von der Größe des bekann-

ten Meeresleuchttierchens (*Noctiluca miliaris*) durch rhythmische Pumpbewegungen auf (ca. im 7-Sekunden-Takt). Hierbei blähte sich die eine Hälfte auf, während die Gegenseite schrumpfte (Abb. 1). Nach kurzem Verweilen in diesem Zustand hatte sich nach circa sieben Sekunden die Verformung umgekehrt.

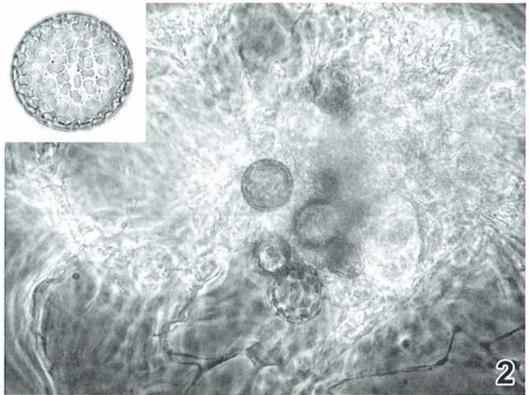
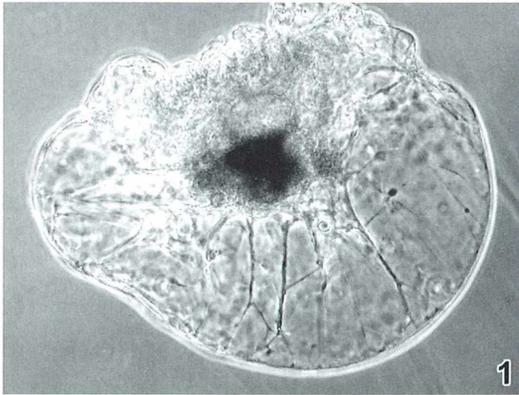


Abb. 1: Bei diesem Organismus ist gerade die eine Seite aufgepumpt, während die andere entsprechend geschrumpft ist. Deutlich sind die vom dichteren Zentrum zur Peripherie ziehenden Plasmastränge zu erkennen. – Abb. 2: Zentrale Diatomeen im zentralen Bereich geben dort dem Organismus eine gelbbraune Färbung. Rechts neben den Diatomeen ist ein eiförmiger Körper (Kern?) zu erkennen. Der Bildeinsatz zeigt eine zentrale Diatomee aus dem freien Wasser. – Abb. 3: Teilstück der Bläschenreihe. Die eiförmigen Bläschen sind zur Wand hin leicht zugespitzt.

Zunächst lag der Gedanke nahe, dass es sich bei diesem Organismus um eine Larve eines Vielzellers handeln könnte; jedoch wies morphologisch nichts auf Vielzelligkeit hin. Stattdessen gibt es Anzeichen, die auf Zugehörigkeit zu den Einzellern, vielleicht sogar zu den Dinoflagellaten hindeuten: Teilweise verzweigte Plasmastränge, welche von einem dichteren Zentrum ausgehen, und ein großer, kernartiger Körper im dichteren Zentrum. Anscheinend intakte zentrische Kieselalgen im Innern (Abb. 2) könnten gerade gefressen worden sein (Mundöffnung bzw. Cytostom sind nicht zu erken-

nen), oder die Algen sind wie bei Dinoflagellaten Symbionten. Eine ungewöhnliche Struktur ist eine Reihe von Bläschen, die sich fast einen halben Meridian lang um den ballonförmigen Körper zieht (Abb. 3). Da es sich um einen Einzelfund handelt, wird ein günstiger Zufall bei einem weiteren Aufenthalt an Mallorcas Küste hoffentlich weitere Beobachtungen ermöglichen.

*Verfasser:* Rudolf Drews, Straße 366 Nr. 3, 13503 Berlin

## Aus den Arbeitsgemeinschaften

### Berliner Mikroskopische Gesellschaft



Programm  
November 2007 bis März 2008

02. 11. 2007 *Dr. Thomas Stach, FU Berlin, Institut für Biologie/Zoologie:* Manteltiere – die vernachlässigte Wirbeltierverwandtschaft
09. 11. 2007 *Martina und Günther Zabrt, Berlin:* Mikroskopie im Alltag – für Einsteiger und Fortgeschrittene (6)
16. 11. 2007 *Dr. Erich Lüthje, Kiel:* Kompostierung
17. 11. und *Robin Wacker, Güntersleben:*  
18. 11. 2007 Mikrotomie botanischer Objekte
30. 11. 2007 *Dr. Dieter Nolte, Berlin:* Farbstoffe – Mikroskopische Färbungen
07. 12. 2007 *Martina und Günther Zabrt, Berlin:* Mikroskopie im Alltag – für Einsteiger und Fortgeschrittene (7)
14. 12. 2007 Weihnachtsfeier
11. 01. 2008 *Sascha Buchczik, Berlin:* Mikropaläontologie Teil 4
18. 01. 2008 *Martina und Günther Zabrt, Berlin:* Mikroskopie im Alltag – für Einsteiger und Fortgeschrittene (8)
25. 01. 2008 *James Bond und Wolfgang Froberg, Berlin:* Orchideen
08. 02. 2008 *Günther Zabrt, Berlin:* Mikroskopische Schmelzpunktbestimmung – Schmelzpräparate
15. 02. 2008 *Martina und Günther Zabrt, Berlin:* Mikroskopie im Alltag – für Einsteiger und Fortgeschrittene (9)
22. 02. 2008 Jahreshauptversammlung
07. 03. 2008 *Prof. Dr. Ulrich Szewzyk, Technische Universität Berlin:* Norwegen unter dem Mikroskop
14. 03. 2008 *Martina und Günther Zabrt, Berlin:* Mikroskopie im Alltag – für Einsteiger und Fortgeschrittene (10)

Die Übungsabende beginnen jeweils um 19.30 Uhr im Institut für Biologie/Zoologie (Johannes-Müller-Saal, 1. Stock) der FU-Berlin, Königin-Luise-Straße 1–3 (Eingang Haderslebener Straße 1–3), 14195 Berlin.

Mikrokosmos  
6/2007

1

(6)

510543  
Bibliothek des Öö.  
Landesmuseums

Museumstraße 14  
4020 Linz

300229

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mikrokosmos, Zeitschrift für Mikroskopie](#)

Jahr/Year: 2007

Band/Volume: [96\\_6](#)

Autor(en)/Author(s):

Artikel/Article: [Mikrokosmos 96\\_6 1](#)