

II 90372/92,3

[www.urbanfischer.de/journals/mikrokosmos](http://www.urbanfischer.de/journals/mikrokosmos)

F 20582

# MIKROKOSMOS



URBAN & FISCHER

Mai 2003  
92. Jahrgang  
Heft 3  
ISSN 0026-3680



Jubiläumsausgabe  
**1000.** Heft

# MIKROKOSMOS

Zeitschrift für Mikroskopie

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

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

## Inhalt

### Artikel

- 129** Blasenhaare  
*Karl Brantner*
- 133** Mikropanoramen  
*Norbert Lange*
- 138** Winzig und wichtig: Die Stellung planktischer Protozoen im Nahrungsgewebe von Flüssen  
*Markus Weitere*
- 149** *Pediastrum biradiatum* – Immer seltener?  
*Ernst Hippe*
- 151** Ein Beitrag zur Videomikroskopie (Mikrovideografie)  
*Gerhard Göke*
- 159** *Euglena mutabilis* – Ein an ungünstige Umweltbedingungen ideal angepasster Protist  
*Wolfgang Jacob*
- 165** Das Fasoldt'sche Objektmikrometer – Ein Wunderwerk der Präzision  
*Erich Steiner*
- 171** *Ruscus* – Aus der Bastelwerkstatt der Evolution  
*Erich Lüthje*
- 177** Wissenschaft, Großindustrie und neuer Sündenfall – Eine Interpretation von Wilhelm Raabes Roman „Pfisters Mühle“  
*Rainer Hendel*
- 184** Mikro-Einsteiger: Kleines Algenpraktikum  
*Rudolf Drews*

### Rubriken

- 131, 132, 157, 164**  
Kurze Mitteilungen
- 137, 170, 183**  
Nachrichten
- 176**  
Aus der Industrie
- 189, 190**  
Buchbesprechungen
- 190**  
Aus den  
Arbeitsgemeinschaften
- 191**  
Mikro-Markt
- 192**  
Impressum

Im elektronischen MIKROKOSMOS-ARCHIV (<http://urbanfischer.de/journals/mikrokosmos/archiv.htm>) wird mit dem Erscheinen dieses Heftes ein dreiteiliger Artikel aus den Jahrgängen 17 und 18 (1923/24 und 1924/25) über den *Ultramikrokosmos* wiedergegeben.

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

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

Mehr Informationen zum MIKROKOSMOS und anderen Zeitschriften finden Sie im Internet:  
<http://www.urbanfischer.de>

Umschlagabbildung: *Pediastrum biradiatum*, 71 × 60 µm (Foto M. Kreuzt). Siehe Artikel E. Hippe, S. 149–150.

## Blasenhaare

Karl Brantner

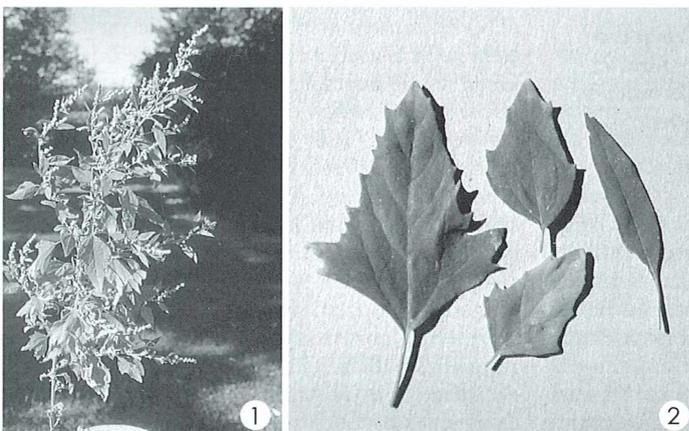
**Die vielfältigen und oft recht interessanten Formen der Pflanzenhaare sind nicht selten der Anreiz zur Darstellung und Beschreibung dieser epidermalen Anhangsgebilde. Unter diesen Formen gibt es jedoch einen Haartyp, der kaum jemals vorgestellt wird, nämlich die Blasenhaare.**

**P**flanzliche Haare kann man auch als Trichome oder epidermale Anhangsgebilde bezeichnen. Sie zeigen eine enorme Formenvielfalt und haben dementsprechend mehrfache Bedeutungen für die pflanzlichen Träger dieser Gebilde und zwar vor allem als Transpirations- und Strahlungsschutz. Aber auch spezielle Aufgaben wie etwa bei Drüsenhaaren und Brennhaaren der Brennnessel werden übernommen. Bei der Behaarung der Blätter zeigt sich meist ein deutlicher Unterschied an den Blattseiten. Die Unterseite ist, besonders wenn es um den Transpirationsschutz geht, gewöhnlich dichter besetzt. Neben den einfachen Trichomen, eben der Haarform, gibt es einzellige und vielzellige verzweigte Haare, Schuppenhaare und weitere Haarformen. Darunter finden sich sehr formschöne, interessante Gebilde wie etwa die schuppenförmigen Sternhaare der Ölweide (*Elaeagnus angustifolia*), die in den Abhandlungen über Pflanzenhaare oft an erster Stelle stehen. Umso erstaunlicher erscheint es daher, dass über den Typus Blasenhaare nicht oder jedenfalls nur vereinzelt berichtet wird. Und das betrifft nicht nur Ab-

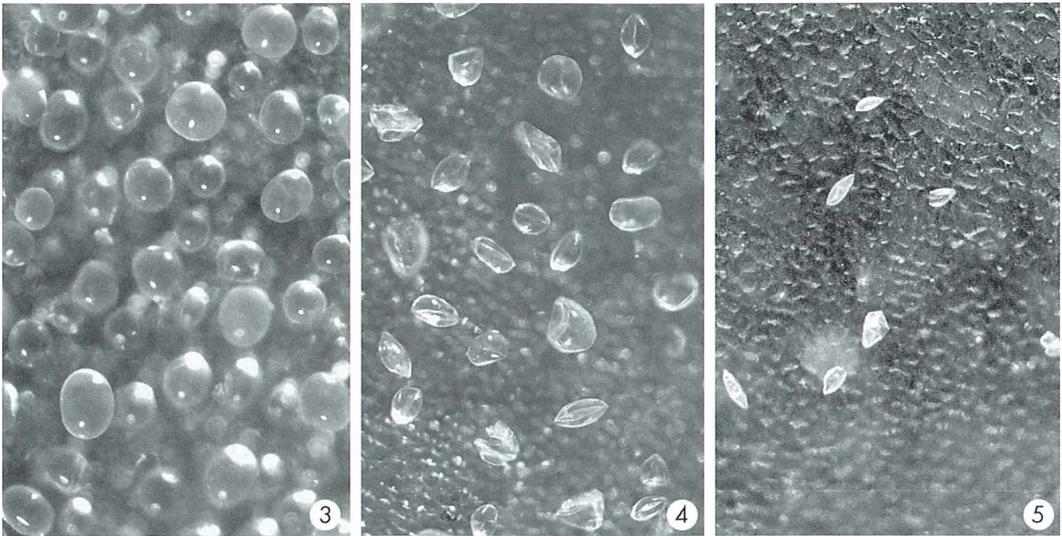
handlungen über das Thema Pflanzenhaare in populärwissenschaftlichen Abhandlungen, sondern auch die einschlägige Literatur, wo das Thema Pflanzenhaare oft nur kurz abgehandelt wird und Blasenhaare gar nicht erwähnt werden. Im *Lehrbuch der Botanik* (Strasburger, 1991) gibt es nur eine Abbildung und nur im Begleittext wird auf die Bedeutung dieser Haare als Ionenspeicher hingewiesen.

### Vorkommen von Blasenhaaren

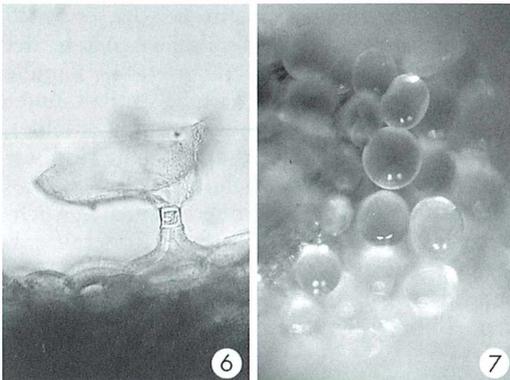
Blasenhaare finden sich nur bei den etwa 20 verschiedenen mitteleuropäischen Arten der Gattung *Chenopodium* (Gänsefuß), Familie Chenopodiaceen. Diese Familie enthält unter anderem auch die Gattung *Atriplex* (Melde), die *Chenopodium* sehr ähnlich sieht. Und wie die Meldengewächse gehört der Gänsefuß ebenfalls zu den vielfach übersehenen Gewächsen am Wegesrand, also zur Ruderalflora. Diese Pflanzen lassen sich dennoch auch ohne besondere botanische Kenntnisse leicht auffinden. Abbildung 1 zeigt die Wuchsform; die



**Abb. 1:** Habitus von *Chenopodium* spec. – **Abb. 2:** Die Blätter variieren in Größe und Form.



**Abb. 3: Blasenhaare in Aufsicht. – Abb. 4: Häufige Zwischenform der Blasenhaare bei trockenem, warmem Wetter. – Abb. 5: Becherform der abgetrockneten Blasenhaare in Aufsicht. Vergr. 125x.**



**Abb. 6: Blasenhaar in Seitenansicht zeigt den mehrzelligen Aufbau. Vergr.: 500x. – Abb. 7: Typische Blasenhaare kann man im Bereich der Fruchtstände auch im Herbst noch finden. Vergr.: 125x.**

Blätter variieren stark in Form und Größe (Abb. 2) und ähneln den Blättern der Melde. Bei genauerem Hinsehen sollte allerdings die Bemehlung vor allem der Blütenstände beziehungsweise der Fruchtstände, aber vielfach auch der Blätter auffallen. Die Bestimmung der einzelnen Arten ist etwas schwierig. Das ist aber auch nicht nötig. Man sieht nach bemehl-

ten, das heißt weißlich bestäubt erscheinenden Pflanzen, und das wird oft *Chenopodium album* sein. *C. album* ist eine recht häufige Art, bei der meist auch wenigstens die oberen Blätter eine dichtere Bemehlung aufweisen. Mit der Lupe wird man ohne Schwierigkeit auch weniger dicht bemehlte Pflanzen erkennen.

### Mikroskopische Untersuchung

Zur mikroskopischen Untersuchung verwendet man am besten ein eher jüngeres, oberes Blatt. Schon bei schwächerer Vergrößerung (etwa 50x) erkennt man in Aufsicht die meist dicht stehenden Blasenhaare als rundliche oder ovale Gebilde, die normal mit Flüssigkeit gefüllt sind. Die ovalen Formen erreichen einen Durchmesser von etwa 100 µm, es bestehen aber beträchtliche Größenunterschiede bis etwa zur halben Größe herab. Der flüssige Inhalt erscheint farblos und mehr oder weniger klar. So sieht das unter günstigen Bedingungen aus (Abb. 3), also vor allem im Frühjahr und bei jüngeren Pflanzen. Es kommt nämlich in der wärmeren Jahreszeit zu einer starken Veränderung dieser Bläschen. Sie verlieren durch Verdunstung Flüssigkeit, und es kommt zur Bildung einer Becherform durch Einsinken der ku-

geligen Oberfläche. Zunächst werden die Blasenhaare unansehnlich (Abb. 4), um schließlich während der trockenen warmen Jahreszeit völlig einzutrocknen (Abb. 5).

Zur näheren Untersuchung ist eine Seitenansicht dieser Haare erforderlich, und um diese zu erzielen, kann man zunächst die Blattränder untersuchen. Die seitlichen Ansichten, die man erhält, sind meist nicht befriedigend. Bei Blattquerschnitten zwischen Holundermark ist eine stärkere Beschädigung dieser empfindlichen Haargebilde zu erwarten. Um das zu umgehen, kann man etwa mit Rasierklingen streifenförmige Blattteile herstellen und diese mit einer Klemmpinzette unter das Mikroskop bringen, wobei dann diese Blattstreifen rein seitlich zur Ansicht kommen sollten. Man wird vielleicht mehrere Streifen untersuchen müssen, um nahe der Schnittstelle befindliche Haare gut zur Ansicht zu bringen. Die Versuche mit frischen Blasenhaaren zeigten auch in der Seitenansicht, ähnlich der Aufsicht, nur den Blasenanteil der Haare. Erst Schnittproben mit abgetrockneten Haaren ließen eine Stielbildung erkennen, die bei den frischen mit Flüssigkeit gefüllten Haaren offensichtlich seitlich überlappt wurden. Wie Abbildung 6 zeigt, ist die basale Zelle des Haares in der Epidermis verankert, und zwi-

schen dieser und dem Blasenanteil des Haares ist eine Zwischenzelle erkennbar. Es handelt sich also um ein mehrzelliges Haar, was auch zu erwarten war. Es hat sich übrigens gezeigt, dass man auch noch im Herbst, wenn alle Blasenhaare an Stängel und Blättern eingetrocknet sind, frische Blasenhaare finden kann, und zwar im Bereich der Fruchststände, wo sie oft noch reichlich zu finden sind (Abb. 7).

#### Literaturhinweise

- Adler, W., Oswald, K., Fischer, R.: Exkursionsflora von Österreich. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1994.
- Braune, W., Leman, A., Taubert, H.: Pflanzenanatomisches Praktikum, 1. Teil. Gustav Fischer Verlag, Jena 1991.
- Hegl, G.: Illustrierte Flora von Mitteleuropa. Verlag Pichlers Witwe und Sohn, Wien 1906–1931.
- Nultsch, W.: Allgemeine Botanik. 11. Auflage. Thieme Verlag, Stuttgart 2000.
- Nultsch, W., Grahl, A.: Mikroskopisch–Botanisches Praktikum. Thieme Verlag, Stuttgart 1979.
- Rothmaler, W.: Exkursionsflora. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1976.
- Strasburger, E.: Lehrbuch der Botanik. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1991.

Verfasser: Dr. Karl Brantner, Baumeistergasse 47/20/3, A 1160 Wien

## Kurze Mitteilungen

### Anatomie des Rohrkolbens

Der Rohrkolben *Typha* (Familie Typhaceae, Rohrkolbengewächse) ist eine hochproduktive Wasserpflanze, die in zahlreichen Habitaten weltweit verbreitet ist. Die Rohrkolben wachsen an den Rändern von Teichen und Weihern, in Brackwasser und auch entlang von Kanälen, die mit industriellen Abwässern verunreinigt sind. Diese Sumpfpflanze mit kriechenden Rhizomen wird 1 bis 2 Meter hoch und zeichnet sich durch einen walzenförmigen Blütenstand (Kolben) aus, der in seinem unteren Teil die weiblichen Blüten, im oberen Teil die männlichen Blüten trägt.

Die drei wichtigsten auch in Europa und Deutschland vorkommenden Arten sind:

– *Typha latifolia*, der breitblättrige Rohrkolben, mit 1–2 cm breiten Blättern und dicken

Rhizomen. Er kommt vorzugsweise in untierten, verlandenden, stehenden Gewässern vor.

– *Typha angustifolia*, der schmalblättrige Rohrkolben, mit 5–8 mm breiten Blättern und schlanken Rhizomen. Er kommt vorzugsweise in tieferen, fließenden oder auch stehenden Gewässern vor.

– *Typha glauca* ist der Bastard zwischen *T. latifolia* und *T. angustifolia*. Er kommt an den gleichen Standorten vor wie der schmal- und breitblättrige Rohrkolben, ist aber mehr angepasst an tieferes Wasser und besonders widerstandsfähig gegenüber stärkeren Winden, besser als seine beiden Elternteile.

Die *Typha*-Arten sind vor allem an ihren Standorten und außerdem an 15 kleinen morphologischen Unterschieden zu erkennen.

Eine neue lichtmikroskopische Untersuchung hat aber auch anatomische Unterschiede zutage gebracht. Um diese herauszufinden, wurden Handschnitte von frischem Material mit der Rasierklinge gemacht und angefärbt: Mit Sudan-Rot 7B auf Suberin, mit Sudan IV auf Cutin, mit Phlorogluzin-Salzsäure auf Lignin, mit Toluidin-Blau O auf Lignine, Tannine und Pektine; die Polysaccharide wurden mit Jod-Jodkalium-Schwefelsäure angefärbt. Für die Fluoreszenzmikroskopie wurden Suberin mit Fluorol-Yellow oder Suberin, Lignin und Kallose mit 0,05% Berberin-Hemisulphat markiert und mit Anilin-Blau oder Toluidin-Blau O gegengefärbt. Die Untersuchung erfolgte mit dem UV-Filter 365 nm und dem Schutzfilter 425 nm. Besondere Beachtung wurde der Endodermis und der Hypodermis mit dem Caspari'schen Streifen geschenkt.

So ließ sich mit diesen klassischen lichtmikroskopischen Methoden eine deutliche Unter-

scheidung der beiden Rohrkolben-Arten und ihres Bastards vornehmen: *T. latifolia* und *T. glauca* haben vergrößerte Epidermiszellen und über den subepidermalen Gefäßbündeln eine verdickte Kutikula. Bei *T. angustifolia* fehlen diese charakteristischen anatomischen Strukturen. Kennzeichnend für den Bastard *T. glauca* ist, dass in den fertilen Stängeln die zerstreuten Gefäßbündel mit einem Band von Fasern umgeben sind. Diese sind möglicherweise für die größere Widerstandsfähigkeit gegen Wind verantwortlich.

#### Literaturhinweis

McManus, H. A., Seago jr., J. L., Marsh, L. C.: Epifluorescent and histochemical aspects of shoot anatomy of *Typha latifolia*, *Typha angustifolia* and *Typha glauca*. *Annals of Botany* 90, 489–493 (2002).

H. F. Linskens, Nijmegen

## Epizoische Pflanzen

Tiere, welche sich ständig putzen und ablecken, wie Katzen, Hunde und Affen, bieten wenig Möglichkeiten, dass pflanzliche Organismen sich an deren Außenseite festsetzen. Epizoische Pflanzen (die auf der Oberfläche lebender Tiere wachsen) sind in tropischen Gebieten jedoch nicht selten. So hat man Algenansammlungen in den Haaren des Faultiers, Flechten auf den Panzern von Schildkröten und Lebermoose (*Cololejeunea*, *Microlejeunea* und *Methgeria*) auf dem Rücken von Käfern gefunden. Neuerlich hat man einen dichten Besatz von epizoischen Bryophyten (*Taxilejeunea obtusangula*) auf dem Rücken von Eidechsen (*Corythophanes cristatus*) beobachtet. Die Lebermoose waren in einem dichten Geflecht von fädigen Algen (vier Arten von Cyanophyceen und Chlorophyceen) eingesponnen, welche die Oberseite des Kopfes bedeckten. Vorherrschend auf dem Kopf der Eidechse waren *Cladophora*, *Rhizoclonium*, *Trentepohlia* sowie *Triophilus*, eine Gattung, welche auch im Haarkleid des Faultieres gefunden wurde.

Es handelt sich bei den epizoischen Moosen offensichtlich um solche Arten, die in der Lage sind, ephemere Substrate rasch zu besiedeln. Die konkaven Vertiefungen auf dem Rücken der Eidechse sind geeignete Stellen, in denen

sich Feuchtigkeit ansammelt und in denen Sporen keimen und sich weiter entwickeln können. Die Tatsache, dass eine kormophytische Pflanze auf einem lebenden Vertebraten siedelt, ist bemerkenswert.

Die epizoischen Moos-Eidechsen Assoziation könnte eine Symbiose darstellen, wobei die erzielte grüne Farbe des Eidechsenkopfes eine Art zusätzliche Tarnung auf dem grünlichen Untergrund der mit Epiphyten besetzten Stämme und Blätter der Angiospermen darstellt.

Die epizoischen Verhältnisse sind noch wenig untersucht und stellen sicherlich eine interessante Möglichkeit für den Mikroskopiker dar, wenn er zum Beispiel Terrarienbewohner genauer untersucht.

#### Literaturhinweise

Gradsetin, S. R., Equihua, C.: An epizoic bryophyte and algae growing on the lizard *Corythophanes cristatus* in Mexican rain forest. *Biotropica* 27, 265–268 (1999).

Gressitt, J. L., Samuelson, G. A., Vitt, D. H.: Moss growing on living Papuan moss-forest weevils. *Nature* 217, 765–767 (1968).

Hendrickson, J. R., Weber W. A.: Lichens on Galapagos giant tortoises. *Science* 144, 1463 (1964).

H. F. Linskens, Nijmegen

# Mikropanoramen

Norbert Lange

Mikroskopiker wollen nicht immer nur winzig kleine Dinge wie Einzeller oder Bakterien beobachten. Manchmal sind es auch makroskopische Objekte, die unserer Aufmerksamkeit bedürfen. Da nun auch solche Objekte eine Feinstruktur besitzen, befinden wir uns bei der Abbildung in einem Dilemma. Entweder wir fotografieren das ganze Objekt, dann fehlt uns die Feinstruktur oder wir fotografieren einen stark vergrößerten Ausschnitt, dann fehlt uns der Überblick. Heute möchte ich ein paar Lösungsvorschläge dazu machen.

Die Lösung liegt darin, die Objekte Stück für Stück mit stärkerer Vergrößerung aufzunehmen und anschließend diese vielen Einzelbilder wieder zu einem Gesamtbild zusammensetzen (Vergleich Abb. 4 und 8). Früher bin ich dazu auf Knien im Arbeitszimmer rungerutscht, um die vielen Einzelbilder zu einem Gesamtkunstwerk von bis zu DIN A0 zusammensetzen. Abbildung 1 ist etwa DIN A1 groß, während das Original nur etwa einen Zentimeter lang ist. Irgend eines der Bilder verschiebt sich dabei ständig, und wenn ein Bild in der ersten Reihe nur geringfügig falsch liegt, wird der Fehler weiter unter immer größer, das heißt mit zunehmender Anzahl an Einzelbildern nimmt auch die erforderliche Sorgfalt deutlich zu. Liegt alles richtig, werden die Einzelbilder wieder aufgenommen, auf der Rückseite mit Klebstoff versehen und auf einem entsprechend großen Karton aufgeklebt. Dabei ist es wichtig, darauf zu achten, keinen lösemittelhaltigen Kleber zu verwenden, weil dadurch die vordere Bild tragende Schicht be-

schädigt werden kann. Doppelseitiges Klebeband hat den Nachteil, dass die Bilder im Laufe der Jahre verrutschen, da das Klebeband nicht

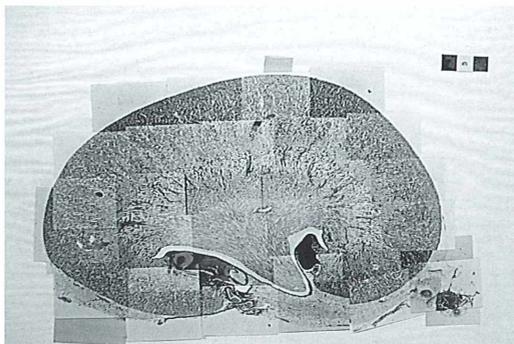
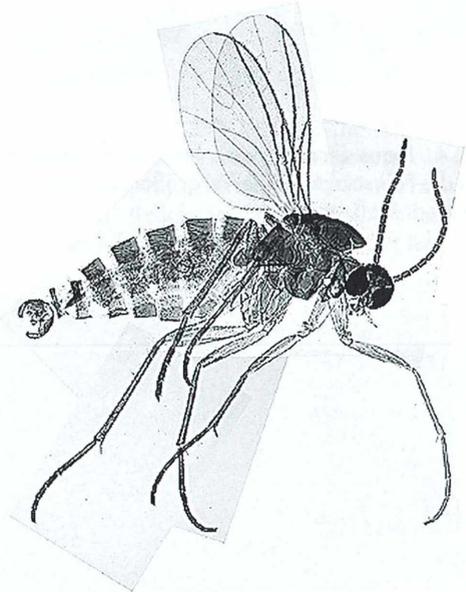
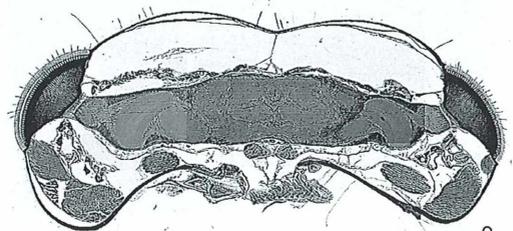


Abb. 1: Von Hand gelegtes Panorama einer Mausniere.



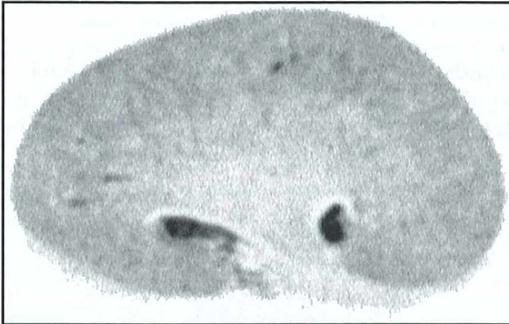
2



3

Abb. 2: Diptere aus sieben Einzelbildern. – Abb. 3: Kopf der Biene quer.

wie ein Klebstoff aushärtet, sondern immer flexibel bleibt. Das man dabei die Begrenzungen der einzelnen Bilder sieht, stört nicht unbedingt, dies kann sogar einen gewissen Reiz haben, ähnlich Satellitenfotos von Planeten (siehe Abb. 1). Nachteilig ist, dass sich die einzelnen Fotos im Laufe der Jahre der Schwerkraft gehorchend verschieben können. Das Foto der Mausiere in Abbildung 1 ist etwa 10 Jahre alt.



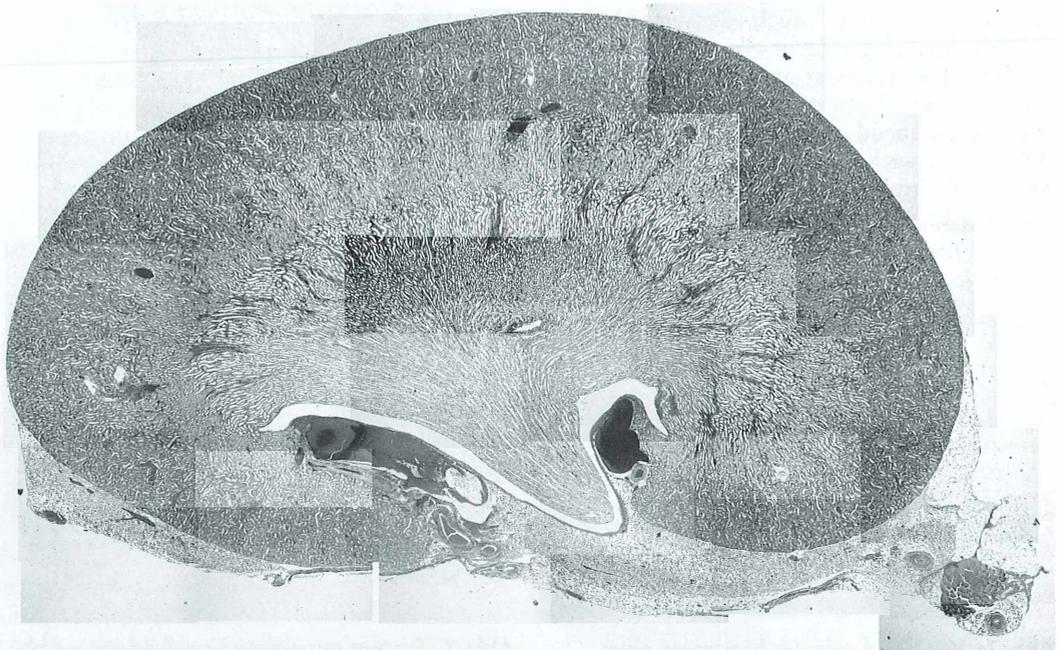
**Abb. 4:** Mausiere längs als Makroaufnahme, es fehlt die Feinstruktur. Eine Vergrößerung ist nur in geringem Maße möglich.

### **Optimierung von Panoramabildern**

Bei der Anfertigung solcher Panoramen gibt es einige Dinge zu beachten. Abbildung 2 zeigt eine Diptere, die mit einem Minimum an Fotos (sieben an der Zahl) erstellt wurde. Der Nachteil ist offensichtlich. Die Bilder sind schwer zu arrangieren, und wie wir später noch sehen werden, mittels Computerprogrammen nicht mehr zu handhaben. Deshalb ist es wesentlich besser, solche Objekte Zeile für Zeile abzurastern, selbst wenn der Verbrauch an Fotomaterial größer ist (Abb. 3). Dann lassen sich die Aufnahmen zeilenweise wieder zusammensetzen. Dazu werden die Bilder, wenn sie einmal provisorisch ausgelegt sind, auf der Rückseite mit einem nicht durchdrückenden Filzstift nummeriert. Die Nummerierung kann nach dem Muster xx/yy erfolgen, wenn xx für die Nummer der Spalte innerhalb der jeweiligen Zeile und yy für die Nummer der Zeile steht. Abschließend werden die Aufnahmen sorgfältig einzeln verklebt.

### **Computerbearbeitung**

Heutzutage kann man solche Arbeiten natürlich viel eleganter im Computer durchführen und



**Abb. 5:** Zwischenergebnis der Legearbeit im Computer mit leichten Fehlern.

die daraus entstehende (zugegebenermaßen recht große) Datei, am besten auf CD, an eine Druckerei geben. Diese kann dann auf einem Laserplotter recht preisgünstig das Plakat in Fotoqualität erzeugen, hierfür reicht eine Auflösung von 200 dpi. Eine DIN A0 große Abbildung kostet roh etwa 50 €, mit Laminierung (um die Farben dauerhaft zu erhalten) etwa 100 €. Geringere Größen sind entsprechend preiswerter. Ein Preis der sich wirklich lohnt, denn ein solches Bild ist in einem entsprechenden Rahmen durchaus eine Attraktion.

Bei der Computerbearbeitung gibt es grundsätzlich zwei Wege, nämlich die Bilder entweder von Hand anzuordnen oder aber die Verwendung so genannter Stitching Programme um die Bilder automatisiert zusammenzufügen. Zu welcher der Methoden man auch immer entscheiden mag, wichtig ist, dass die Bilder immer an allen aneinander grenzenden Seiten eine deutliche Überlappung aufweisen (etwa 20%, auch hier sollte man nicht mit Fotomaterial sparen), damit kein Lücken entstehen. Mit Programmen wie Adobe Photoshop, Corel

PhotoPaint oder PaintShop Pro lassen sich solche „Legearbeiten“ hervorragend durchführen. Beim Legen der Bilder sollte man mit entsprechender Vergrößerung arbeiten, um so die Details besser zu erkennen. Anschließend erhält man ein Bild wie in den Abbildungen 3 und 8 zu sehen ist. Es fällt auf, dass die Bildfelder unterschiedliche Helligkeiten aufweisen, obwohl die hier verwandten Einzelbilder schon farbkorrigiert sind (Abb. 5 zeigt im Randbereich die ursprünglichen Bilder und damit den Effekt noch deutlicher). Das liegt an den unterschiedlichen Lichtverhältnissen während der Belichtung. Die Belichtungsautomatik der Kamera reagiert entsprechend anders, je nachdem, ob das Bildfeld nur Gewebe oder eben viel freien Raum enthält. Entwicklungsanstalten tun ein übriges dazu, und es ist dem Fotogeschäft nur schwer zu erklären, warum man mehrfach einen Teil der Bilder zurückgehen lässt. Bei Digitalfotos beziehungsweise gescannten Negativen kann man die Einzelbilder entsprechend anpassen. Einige Panoramaprogramme kennen dieses Problem und bieten deshalb gleich Korrekturmöglichkeiten an, so dass die Einzelbilder an einen Durchschnittswert angepasst werden. Eine andere Möglichkeit ist, die Kamera auf einen festen Belichtungswert einzustellen, den man durch Probeaufnahmen ermittelt hat.

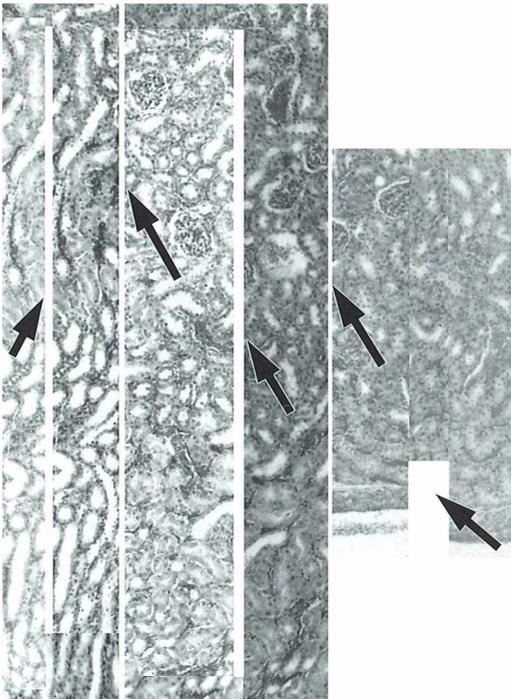


Abb. 6: Die Pfeile zeigen links die fehlende Überlappung und rechts eine große Lücke im Bild.

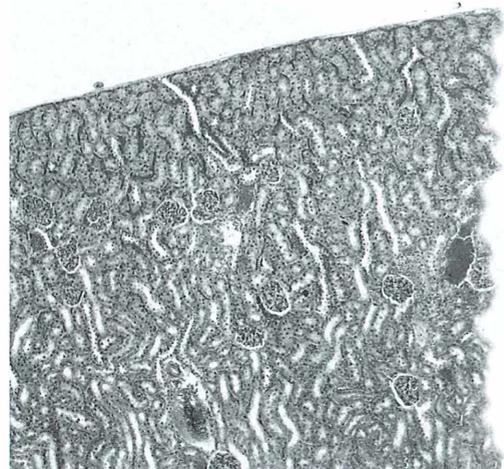


Abb. 7: Der überlappende Teil der oberen Ebene eines Bildes wurde mit der Funktion Radiergummi mit weicher Spitze bearbeitet, um die Übergänge weicher zu gestalten.

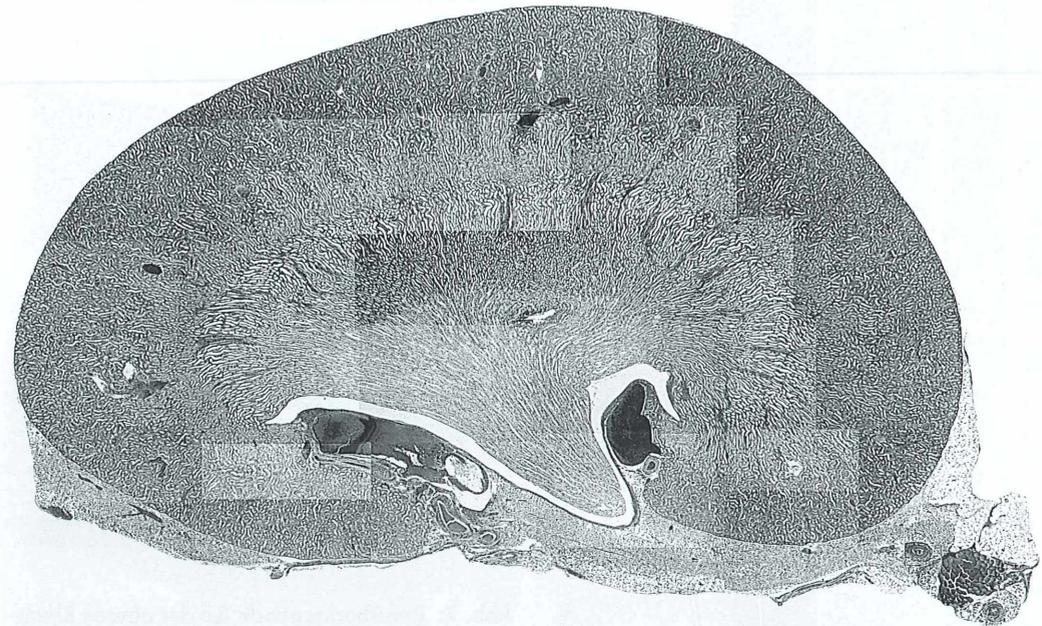
### **Bildbearbeitung**

Die Bildbearbeitungsprogramme arbeiten mit der Ebenentechnik, so dass man im Einzelfall entscheiden kann, welches der Bilder im Vordergrund und welches eher im Hintergrund liegen soll. Am besten wählt man die Bildgröße des zu erstellenden Bildes etwas größer als man für das endgültige Bild erwartet. Dann können die einzelnen Bilder nach und nach auf die Montagefläche gezogen werden. Dabei sollten die Bilder schon vorsortiert sein und möglichst die Dateinamen nach oben beschriebener Nomenklatur (xx-yy) enthalten, dann ist es umso leichter, die Bilder in der richtigen Reihenfolge zu arrangieren. In der Ebenenpalette stellen Sie die Deckkraft der jeweils neuen Ebene auf etwa 60%. Damit ist es wesentlich leichter, die Bilder zu positionieren. Nun können Sie entscheiden, ob Sie die Bilder so behalten möchten, damit man die Überlappungen noch sieht (um des Effektes wegen), oder ob sie die Schnittstellen lieber verbergen wollen, um ein gleichmäßiges Bild zu bekommen. Im letzteren Fall nehmen Sie die Radiergummifunktion mit weicher Spitze und radieren die Hälfte der Überlappung des oberen Bildes weg. Dies sollte unre-

gelmäßig geschehen, keine scharfen Kanten zu lassen (Abb. 7). Anschließend können Sie dann die unterschiedlichen Helligkeiten der einzelnen Ebenen anpassen. Dies erfolgt über die Tonwertkorrektur, wo Sie nur die Mitteltöne anpassen. Bei Farbstichen müssen Sie die Mitteltöne in den einzelnen Farbkanälen anpassen. Anschließend reduzieren Sie alle Ebenen auf die Hintergrundebene, um so die Dateigröße erheblich zu reduzieren. Achten Sie aber darauf, dieses Bild unter einem anderen Dateinamen abzuspeichern, um später noch die Möglichkeit zu haben, weitere Korrekturen vorzunehmen.

### **Fehler der Bildbearbeitung**

Bei der Legearbeit in Abbildung 5 sind gleich eine ganze Reihe von Fehlern zu sehen. Zum einen sieht man den Farbstich der Einzelbilder, die im Randbereich liegen und weniger Bildanteil besitzen. Durch den großen Anteil an freiem Bildbereich wurde die Belichtungsautomatik getäuscht. Zum anderen sieht man Fehler in der Auslegung der Einzelbilder. Diese Fehler werden in Abbildung 6 noch einmal



**Abb. 8:** Abschlussbild der Niere, allerdings noch ohne die Bearbeitung mit der Radiergummifunktion und in Teilen müsste noch der Farbton angepasst werden.

deutlich hervorgehoben. Hier sieht man, wie wichtig eine etwa 20%ige Überlappung der Einzelbilder ist; nichts sieht schlimmer und unprofessioneller aus wie fehlende Überlappung oder gar Lücken im Bild. Das fertige Bild könnte dann wie in Abbildung 8 aussehen. Eventuell kann hier noch die schon beschriebene Radiergummifunktion und der Tonwertangleich vorgenommen werden.

### Stitcher

Wie schon anfangs erwähnt, kann diese Legearbeit auch mit einem Computerprogramm für Panoramen durchgeführt werden. Solche Programme nennt man *Stitcher* (engl. nähen, heften). Hier gibt es eine ganze Reihe preiswerter oder gar kostenloser Programme. Es ist darauf zu achten, dass einige Panoramaprogramme nur eine einzige Zeile bearbeiten können; diese sind für unsere Zwecke ungeeignet. Da es aber von den meisten Programmen eine Testversion gibt, kann man in Ruhe das geeignetste auswählen. Ich will hier nur einige kurz erwähnen. Kostenlos gibt es auf der Webseite [www.panoramafactory.com](http://www.panoramafactory.com) das Programm PanoramaFactory in der Version 1.6, die aktu-

elle Version 2.4 ist Shareware. Die kostenlosen PanoTools von H. Dersch von der Universität in Furtwangen bekommt man unter <http://www.fh-furtwangen.de/~dersch/> einschließlich Beschreibung und Beispielen im Internet zum Download. Ein weiteres recht interessantes, wenn auch nicht kostenloses Programm ist Visual Stitcher von Panavue. Die Testversion bekommt man unter [www.panavue.com](http://www.panavue.com). Dieses Programm unterscheidet zwischen dem Arrangieren von Fotos, echten Panoramen und 360° Aufnahmen. Darüber hinaus kann das Programm auch schiefe Bilder gerade rücken. Man kann wählen, ob das Programm automatisch arbeiten soll, oder ob man noch manuell eingreifen will. Das ist wichtig, da Landschaftspanoramen je nach verwendeter Brennweite Verzerrungen aufweisen, die berücksichtigt werden müssen. Bei unseren Fotos haben wir das Problem der Verzerrungen natürlich nicht. Für alle diese Programme ist entscheidend, dass die Bilder wie anfangs erwähnt, in Zeilen gerastert aufgenommen werden. Mit Einzelbildern wie bei der Diptere können diese Programme nur wenig anfangen.

Verfasser: Dr. Norbert Lange, Idsteiner Str. 36,  
D-57074 Siegen,  
e-mail: [norbert.lange@gwu.net](mailto:norbert.lange@gwu.net)

## Nachricht

### Aktualisiertes MIKROKOSMOS-Register verfügbar

Mit Einführung der Computer-Technologie wurde in den vergangenen Jahren von der Redaktion hin und wieder ein Register der MIKROKOSMOS-Bände angeboten, das als Word-Datei von uns bezogen werden konnte. Dieses Register endete aber abrupt mit dem Jahr 1996, da die Reaktion sich aus zeitlichen Gründen nicht dazu in der Lage sah, ein Update vorzunehmen.

In der Zwischenzeit hat dankenswerterweise einer unserer Leser, nämlich Herr Horst Wörmann aus Bornheim, eine aktualisierte, mit dem Jahr 1930 beginnende und bis zum Jahr 2003 reichende Register-Version erstellt. Diese kann nun über die Internet-Homepage des MIKROKOSMOS direkt und kostenfrei heruntergeladen werden. Diejenigen, die nicht über einen Internet-Zugang verfügen, können diese Datei ganz konventionell von der Berliner Redaktion

gegen Voreinsendung von Briefmarken in Höhe von 5,- € in Form einer entsprechenden Diskette erhalten. Sollte sich ein Leser dazu berufen und befähigt fühlen, die ersten Jahrgänge von 1907 bis 1929 zu erfassen, bitten wir ihn nachdrücklich darum, sich mit uns, der Redaktion, in Verbindung zu setzen. Wir verfügen über gedruckte Register-Zusammenstellungen der entsprechenden Jahrgänge, die erfasst werden müssten. Diese sind allerdings in der seinerzeit gängigen Frakturschrift gedruckt. Somit ist ein lernfähiges Texterkennungssystem gefordert, das diese Schrifttypografie erkennen kann.

Wir würden uns sehr freuen, von einem Interessenten zu hören, der sich uneigennützig dieser Aufgabe stellen mag und damit seine intensive Bindung an unsere Zeitschrift bekundet.

Reaktion MIKROKOSMOS

## Winzig und wichtig: Die Stellung planktischer Protozoen im Nahrungsgewebe von Flüssen

Markus Weitere

Das Zooplankton in Fließgewässern galt lange Zeit als unbedeutend und die Existenz eines sich selbst reproduzierenden Planktons in Flüssen wurde oft bestritten. Stoffumsatzprozesse durch das Zooplankton wurden entsprechend auch als unbedeutend betrachtet. Neue Untersuchungen unter Berücksichtigung der planktischen Protozoen und der trophischen Verbindungen zwischen Plankton und Benthos zeigen, dass diese Vorstellung einer Neubewertung bedarf.

**F**lüsse bedecken nur etwa 0,1% der Landoberfläche. Dennoch sind sie für uns von enormer Bedeutung – zum Beispiel als Transportwege, Vorfluter und zur Trinkwasserversorgung. Die Reinhaltung der Gewässer liegt uns besonders am Herzen und damit auch die Frage des Regenerationsvermögens nach organischen Verunreinigungen. In diesem Prozess der Selbstreinigung spielen Mikroorganismen natürlich eine zentrale Rolle. Dabei wird oft vergessen, dass dies nicht nur Bakterien sind, sondern dass der Abbau organischer Verbindungen über ein Nahrungsgewebe erfolgt, welches sehr komplex sein kann. Eine wichtige Komponente dieses Nahrungsgewebes, die Protozoen, fanden bisher in Fließgewässern nur wenig Beachtung. In diesem Übersichtsartikel soll deren Auftreten im Plankton von großen Fließgewässern und deren Bedeutung im Stofffluss beleuchtet werden. Dabei wird zunächst eine kurze Übersicht über das mikrobielle Nahrungsgewebe gegeben und dann auf die spezielle Situation in Fließgewässern eingegangen.

### Protozoen und das mikrobielle Nahrungsgewebe

Traditionell geht man bei der Betrachtung der Nahrungsbeziehungen im Freiwasser in Seen von einer viergliedrigen Nahrungskette von den einzelligen Algen über das vielzellige Zooplankton und die planktonfressenden Fische zu den Raubfischen aus (Schwörbel, 1999; Abb. 1). Geschlossen wird der Kreislauf durch die Aktivität der Bakterien, welche die toten Organismen wieder remineralisieren, das heißt zu pflan-

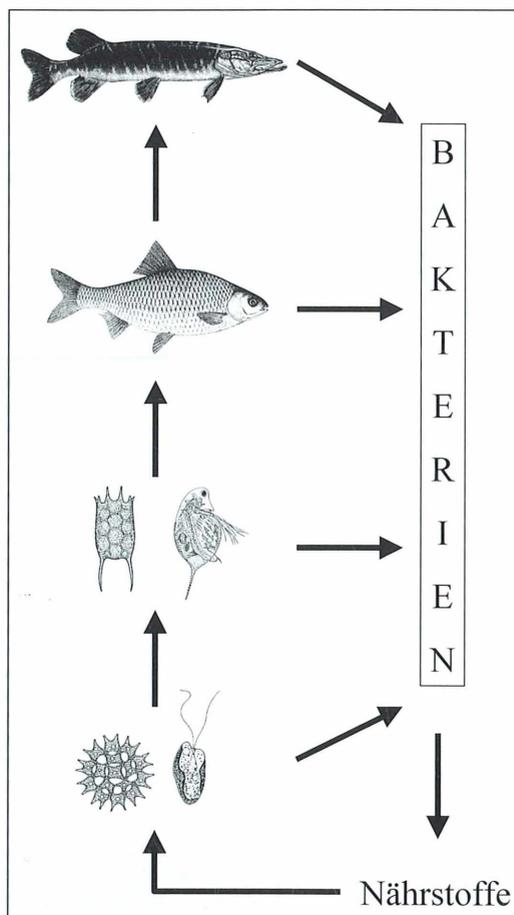
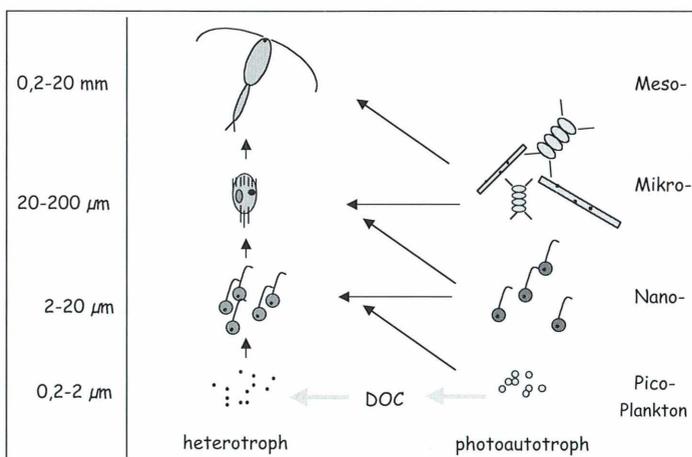


Abb. 1: Vorstellungen über den Stofffluss im planktischen Nahrungsgewebe: Klassische Nahrungskette

zenverfügbaren Nährstoffe abbauen. Das einzellige Zooplankton (damit sind Protozoen gemeint) wurde in dieser traditionellen Darstellung schlichtweg ignoriert. Erst in den 80er Jahren erweiterte sich basierend auf einer Publikation von Azam und Mitarbeitern (1983) die Betrachtung der trophischen Zusammenhänge im Plankton (Abb. 2). Man erkannte, dass ein beachtlicher Teil der Primärproduktion des Phytoplanktons als gelöster organischer Kohlenstoff in das umgebende Wasser abgegeben wird (exsudiert). Dieser gelöste organische Kohlenstoff wird aber von Bakterien genutzt. Die Bakterien werden von Protozoen konsumiert und zwar vor allem von kleinen heterotrophen Flagellaten (HF). Die HF, jedoch auch Algen, werden von anderen, in der Regel größeren Einzellern, beispielsweise den Ciliaten, konsumiert, welche wiederum als Nahrung für das vielzellige Zooplankton dienen. Damit besteht nicht nur eine direkte Nahrungsbeziehung zwischen dem Phytoplankton und dem vielzelligen Zooplankton, sondern auch eine indirekte Korrelation über einen Umweg (gelöster organischer Kohlenstoff – Bakterien – Protozoen – vielzelliges Zooplankton). Dieser Umweg wird als mikrobielle Schleife (Microbial Loop) bezeichnet. Damit war nicht nur eine wichtige Rolle der Protozoen hervorgehoben, sondern auch auf die Bedeutung des nicht partikulären Stofftransportes, speziell der Algenexsudate, aufmerksam gemacht worden. Die Bakterien sind nicht nur Destruenten, sondern Teil einer Nahrungskette, in der sie für das Zooplankton nicht direkt verfügbare gelöste Substanzen in konsumierbare Biomasse einbauen. Einige der Ideen der mikrobiel-

len Schleife wurden bereits vor ihrer detaillierten Aufdeckung durch Azam und Mitarbeiter (1983) von russischen Forschern formuliert (siehe Sorokin, 1981). Leider fanden deren Ideen kaum internationale Beachtung.

Dass die Wechselwirkungen in der Natur aber deutlich komplexer sind als oben skizziert, dürfte bereits jeder aufmerksame Mikroskopiker erahnt haben. So lässt sich unter dem Mikroskop beobachten, wie einige Flagellaten auch Algen konsumieren und einige Ciliaten auf der anderen Seite auch oft Bakterien einstrudeln. Das heißt, dass die Art der Nahrung auch innerhalb einer Protozoengruppe sehr unterschiedlich sein kann (Arndt et al., 2000; Hausmann, 2001). Eine Pauschalisierung – wie die Betrachtung der HF als reine Bakterienfresser – trifft die Realität nicht immer. Hinzu kommt, dass neben den Ciliaten und den HF sich auch weitere planktische Protozoen wie Heliozoen und nackte Amöben am Stoffumsatz beteiligen können, die meist wenig Beachtung finden. Durch die Forschungen der letzten 20 Jahre wurde immer deutlicher, dass sich die mikrobiellen Interaktionen im Freiwasser nicht als einfache Schleife beschreiben lassen können, sondern dass es sich um ein komplexes, dreidimensionales Nahrungsgewebe mit zahlreichen Interaktionen handelt (Arndt, 1994). In Abbildung 3 sind potentielle Stoffflüsse im mikrobiellen Nahrungsgewebe skizziert. Hier wurden zum Beispiel auch Amöben sowie der Einfluss so genannter großer Flagellaten auf das Phytoplankton berücksichtigt. Ebenfalls wurde bedacht, dass auch totes organisches Material (Detritus) von den Protozoen aufgenommen



**Abb. 2:** Vereinfachte Vorstellung des mikrobiellen Nahrungsnetzes (nach Fenchel, 1987).

und verwertet werden kann (Posch und Arndt, 1996). Aber auch dieses komplexe Bild kann nicht alle möglichen Stoffflusswege im Gewässer erfassen. Es wird beispielsweise nicht dargestellt, dass es neben den Algenexsudaten verschiedenste weitere Quellen von organischem Kohlenstoff gibt. So können beispielsweise auch beim Fraß von Protozoen und Metazoen gelöste organische Verbindungen entstehen (sloppy feeding) oder diese besonders in Fließgewässern auch in großen Mengen aus der Umgebung eingewaschen werden. Diese müssen dann über das Nahrungsgewebe abgebaut werden. Oft kommt nur ein sehr geringer Teil des Kohlenstoffes, welcher von den Bakterien aufgenommen wurde, auch bei dem vielzelligen Zooplankton an. Ein weitaus größerer Teil wird durch die Einzeller abgebaut. Diese Prozesse sind daher von zentraler Bedeutung, wenn wir die Abbauewege in unseren Gewässern verstehen wollen.

### Das Potamoplankton

Plankton in Fließgewässern ist seit Ende des vorletzten Jahrhunderts im Fokus der limnologischen Forschung. Bereits Zacharias benutzte 1898 den Begriff Potamoplankton (Potamon, griechisch = Fluss) für die *pflanzlichen und tierischen Schwebewesen* in Fließgewässern. Er zeigte, dass in unseren Fließgewässern ein nennenswerter Planktonbestand existieren kann. Zacharias vermutete Uferbuchten als *Brutstädten des Planktons* und *daß die Planktonzeugung noch im fließenden Wasser selbst vor sich geht*. Dieser Sicht, dass in die fließende Welle eingetragenes Plankton sich im Fluss vermehrt, wurde später widersprochen. Brehm (1911) sprach dem Begriff Potamoplankton gar die Existenzberechtigung ab. Die Bezeichnung Plankton sei unzulässig, weil es sich vor allem um driftende Ufer- und Bodenorganismen handele und die echten Plankter das Präfix Potamo

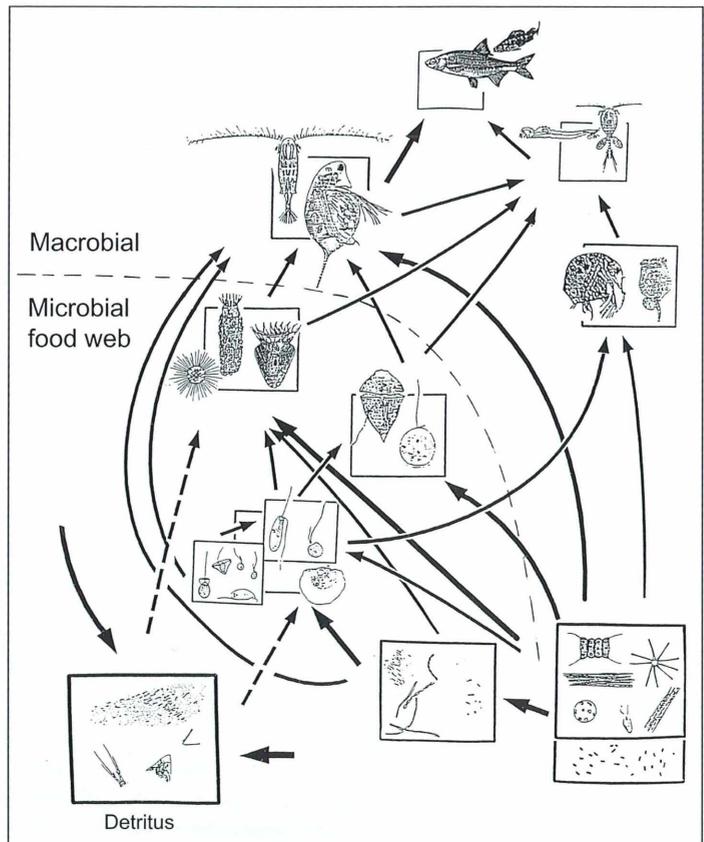


Abb. 3: Potentielle Interaktionen in einem komplexen mikrobiellen Nahrungsgewebe (nach Arndt, 1994).

nicht verdient hätten, da sie nicht aus dem Fluss selbst stammten. Sie würden sich im Fluss nicht vermehren und nach einiger Zeit zu Grunde gehen. Auch wenn Brehm aus heutiger Sicht teilweise Recht hatte, dass nämlich einige Plankter im Fluss tatsächlich driftende benthische Organismen sind und auch, dass das Plankton zunächst aus angebundenen Gewässern in die fließende Welle einwaschen muss, so irrte er sich in seiner Einschätzung, dass sich das Plankton in Fluss nicht vermehren kann.

Plankton ist in Fließgewässern unterschiedlichsten Faktoren ausgesetzt, wie beispielsweise der Turbulenz und den oft hohen Dichten an Schwebstoffen, die den Fraß des Zooplanktons beeinflussen können und Licht für die Photosynthese des Phytoplanktons absorbieren. Solche Faktoren können in der Tat das Wachstum des Planktons erschweren. Dennoch liegen bis heute zahlreiche Untersuchungen vor, die zeigen, dass sowohl Zoo- als auch Phytoplankton in der fließenden Welle produktiv sind. Und so gilt heute die von Zacharias ausgesprochene Vermutung als gesichert, auch wenn das potentielle Wachstum der Plankter je nach den speziellen Bedingungen in den einzelnen Fließgewässern sehr unterschiedlich sein kann.

Möchte man die Dichten an planktischen Organismen an einem bestimmten Ort im Fluss erklären, so muss man neben den Wachstumsleistungen der Plankter aber auch die Menge des Eintrags in die fließende Welle und die Zeit zum Reproduzieren, das heißt, die Verweildauer im Fluss, betrachten. In der Verweildauer wird meist der Grund gesehen, warum die Dichten des Planktons mit zunehmender Fließzeit zunehmen und Plankter mit längeren Generationszeiten, wie große Vertreter des Zooplanktons, auch im Unterlauf der Fließgewässer oft immer noch in deutlich geringeren Dichten vorkommen, als man es aus Stillgewässern kennt. Das heißt, dass man sich in der Erklärung der Planktondichten in Fließgewässern meist auf die Bildungsprozesse (Eintrag, Wachstum, Zeit zum Wachstum) beschränkt hat und Verlustprozesse entlang der Fließstrecke für weniger bedeutend hielt. Eine solche Betrachtung ist jedoch unvollständig und erklärt nicht, warum zum Beispiel im Rhein schon bald nach dem Ausfluss aus dem Bodensee deutlich geringere Dichten an Plankton vorkommen als im Bodensee selber. Auf Verluste des Potamoplanktons im Fließgewässer soll weiter unten eingegangen werden.

### **Die Rolle der Protozoen im Potamoplankton**

Aufgrund ihrer potentiell hohen Wachstumsraten scheinen Protozoen geradezu ideal für eine rasche Besiedlung von Fließgewässern zu sein. Dennoch gibt es bis heute nur relativ wenige quantitative Untersuchungen über planktische Protozoen in Fließgewässern. In limnologischen Lehrbüchern werden sie bis heute sogar oft ignoriert. Zwar wurden auch die Protozoen in Fließgewässern bereits im vorletzten Jahrhundert taxonomisch untersucht (zum Beispiel von Lauterborn, 1896), aber erst in jüngerer Zeit wurden mit modernen Techniken zuverlässige quantitative Daten erhoben. Diese zeigen entgegen der gängigen Annahme über die geringen Dichten von Zooplankton in Fließgewässern, dass Protozoen in etwa ebenso hohen Dichten im Freiwasser der Flüsse vorkommen können, wie man es auch aus Stillgewässern kennt. In 31 mittelgroßen kanadischen Flüssen (Abfluss über  $8 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ ) wurden im Sommer Abundanzen (die Abundanz bezieht sich hier auf die Anzahl der Individuen pro Volumeneinheit Wasser) zwischen 1.200 und 17.400 HF  $\text{ml}^{-1}$  nachgewiesen (Basu und Pick, 1997). Dies liegt in der selben Größenordnung wie in Stillgewässern (Arndt et al., 2000). Die saisonale wie auch die kurzzeitige Dynamik kann jedoch sehr hoch sein (Abb. 4). Während einer 21-monatigen Studie im Rhein schwankten die HF Abundanzen zwischen 7 und 4.890 HF  $\text{ml}^{-1}$  (Weitere und Arndt, 2002a). Die saisonale Dynamik unterschied sich deutlich von der in Seen und die Abundanzen waren hier in starkem Maße von dem Wasserabfluss abhängig (Abb. 4). Die höchsten Dichten wurden im Herbst und Winter bei hohen Wasserständen gemessen. Unterschiede zwischen den Untersuchungsjahren ließen sich auf Unterschiede im Wasserabfluss zurückführen.

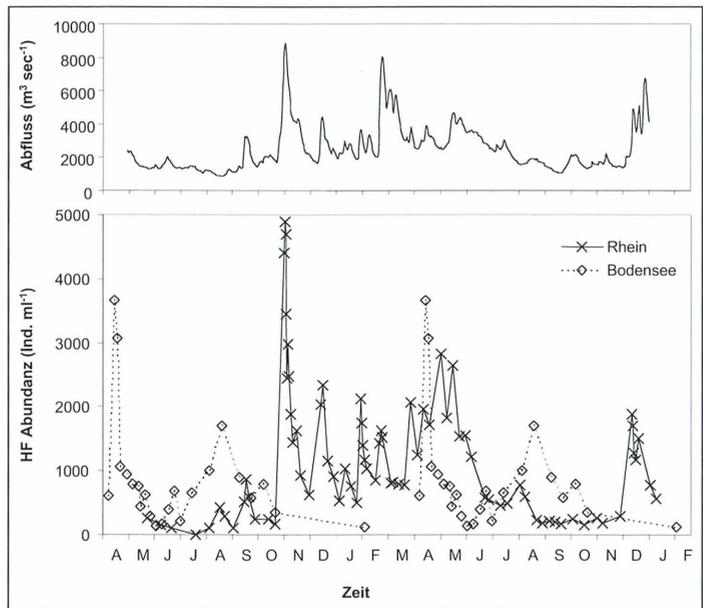
Auch die Ciliaten können in Flüssen in der Regel in ähnlich hohen Dichten vorkommen, wie man es auch aus Stillgewässern kennt. So wurden in der Loire zwischen Juni und Oktober Abundanzen von 4,7 bis 48,8 Ciliaten  $\text{ml}^{-1}$  gemessen (Lair et al., 1999). Jedoch scheint das Bild für die Ciliaten nicht so eindeutig zu sein wie für die HF. In manchen Flüssen wurden auch deutlich geringere Ciliatendichten nachgewiesen, wie beispielsweise im Rhein. Hier lagen in zwei 14- und 21-monatigen Studien die Abundanzen nur zwischen weniger als 0,005 und 1,4 Ciliaten  $\text{ml}^{-1}$  (Scherwass, 2001; Berg-

feld, 2001; vgl. Tab. 1). Andere Protozoengruppen wie beispielsweise die nackten Amöben und Heliozoen scheinen in Fließgewässern von untergeordneter Bedeutung zu sein. Jedoch fehlen bis heute gezielte Untersuchungen, die bezüglich dieser Gruppen durchaus noch Überraschendes hervorbringen könnten.

In der taxonomischen Struktur scheinen sich die Protozoengemeinschaften in Flüssen kaum von denen in Stillgewässern zu unterscheiden. Es sind zahlreiche Vertreter aus unterschiedlichsten Gruppen zu finden (Wörner et al., 2000; Weitere, 2001; Scherwass, 2001). Häufige Vertreter sind in der Abbildung 5 zusammengefasst. Unter den Flagellaten sind die

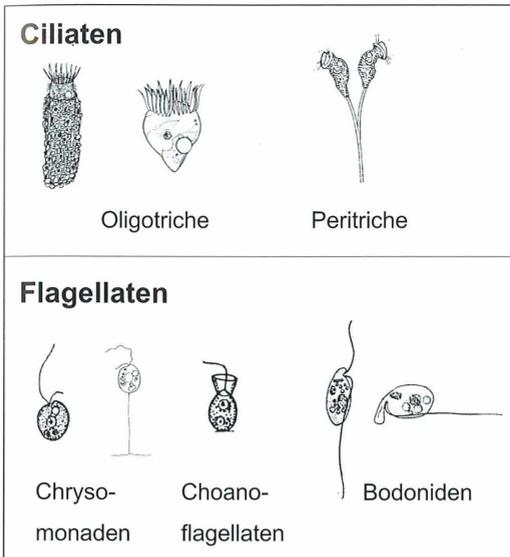
Chrysomonaden die dominante Gruppe. Alleine die beiden farblosen Chrysomonadengattungen *Spumella* und *Paraphysomonas* machen im Rhein im Mittel über 50% der HF-Abundanz aus (Weitere und Arndt, 2000; Weitere, 2001). Unter den Ciliaten dominieren unter den echten planktischen Formen meist oligotriche Ciliaten (Lair et al., 1999; Scherwass, 2001). Neben diesen typischen planktischen Vertretern findet man im Freiwasser auch substratgebundene Gruppen. Beispiele sind Bodoniden und Eugleniden (beides Flagellaten) sowie peritriche Ciliaten (Abb. 5). Bei diesen Vertretern handelt es sich aber nicht nur um Drift vom Gewässerboden, die sozusagen unfreiwillig

**Abb. 4:** HF Abundanz im Rhein bei Köln über einen Zeitraum von 21 Monaten (nach Weitere und Arndt, 2002a). Zusätzlich ist in der oberen Grafik der Wasserabfluss im Rhein bei Köln sowie in der unteren Grafik die typische saisonale HF Dynamik im Herkunftsreservoir des Rheins, dem Bodensee, gegeben (nach Clevén, 1995). Die Abundanz im Rhein zeigt dabei nicht die typische Dynamik, wie man sie aus Seen kennt, und ist im starken Maße vom Abfluss beeinflusst.

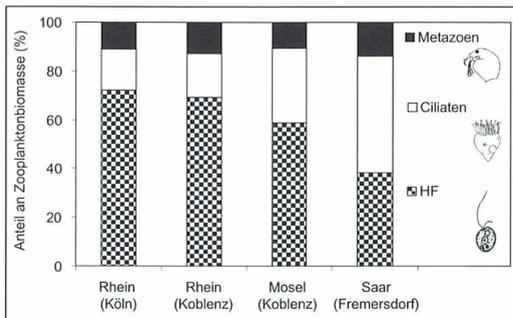


**Tabelle 1:** Mittlere Abundanzen von heterotrophen Flagellaten (HF) und Ciliaten in großen deutschen Fließgewässern. Minima und Maxima sind in Klammern angegeben. In den zitierten Studien wurde mindestens ein kompletter Jahresgang beprobt.

	HF (pro ml)	Ciliaten (pro ml)	Quelle
Mosel bei Koblenz	332 (11–3.184)	0,340 (<0,005–2,440)	Bergfeld, 2002
Saar bei Fremersdorf	757 (23–6.026)	1,590 (0,169–15,600)	Bergfeld, 2002
Rhein bei Koblenz	280 (14–2.143)	0,173 (<0,005–0,758)	Bergfeld, 2002
Rhein bei Köln	1.180 (7–4.890)	0,483 (0,015–1,366)	Weitere und Arndt, 2002a (HF), Scherwass, 2001 (Ciliaten)



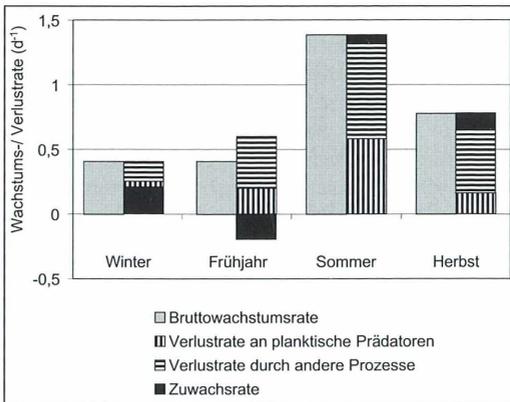
**Abb. 5:** Häufige Protozoen im Plankton von Fließgewässern. Auch wenn in der Regel über 50% der Protozoen im Freiwasser von Flüssen in die dargestellten Gruppen fallen, sind zahlreiche weitere Vertreter aus unterschiedlichsten taxonomischen Gruppen zu finden.



**Abb. 6:** Anteil der Flagellaten, Ciliaten und Metazoen an der Gesamtzooplankton-Biomasse in verschiedenen Flüssen. Dargestellt sind Mittelwerte von Studien, die mindestens einen kompletten Jahresgang umfassten. Bemerkenswert sind die im Vergleich zu Stillgewässern sehr hohen Anteile der Protozoen, auch wenn zu bestimmten Zeiten und in anderen Fließgewässern die Metazoen höhere Anteile einnehmen können (Quellen: Rhein bei Köln: Scherwass, 2001 [Ciliaten], Weitere, 2001 [HF], Sieben, 2002 [Metazoen]; restliche Flüsse: Bergfeld, 2002).

lig in die Wassersäule gerissen wurden (Scherwass und Arndt, 2000). Sie können auch die vielen Schwebstoffe in der Wassersäule besiedeln (Wörner et al., 2000; Zimmermann-Timm, 2002). Auf verschiedenen fragilen, amorphen Partikeln aus organischem und anorganischem Material, auf so genannten Aggregaten, können die kleinen Einzeller oft gute Nahrungsbedingungen finden. Teilweise können die Dichten der aggregatassoziierten Protisten die der sich frei im Wasser bewegenden überschreiten (Wörner et al., 2002). Die Bedeutung dieser Aggregate scheint jedoch je nach Bedingungen in den Fließgewässern (unter anderem Turbulenz, Phytoplanktondichte) sehr unterschiedlich zu sein. Eine umfangreiche Übersicht über die Rolle von Aggregaten in Fließgewässern findet sich bei Zimmermann-Timm (2002).

Die Konsequenz aus den hohen Dichten an Protozoen und den geringen Dichten an Metazoen ist, dass das Gesamtzooplankton von Protozoen dominiert ist (Abb. 6; Arndt, 1991). Dies ist ein grundlegend anderes Bild im Vergleich zu Stillgewässern, in denen die Zooplanktonbiomasse in der Regel von Metazoen dominiert wird. Hinzu kommt, dass Protozoen in der Regel wesentlich produktiver sind als Metazoen; das heißt, dass deren Anteil am Stoffumsatz deutlich höher ist als deren Biomasseanteil. In Abbildung 7 sind exemplarisch mittlere Nettowachstumsraten für HF im Rhein dargestellt. Diese Raten entsprechen mittleren Verdopplungszeiten von nur 12 Stunden im Sommer und 40 Stunden im Winter. Mit Hilfe dieser Wachstumsraten und der Wachstumseffizienz (etwa 1/3 der Biomasse der Nahrung wird in flagellateneigene Biomasse umgewandelt) lassen sich potentielle Fraßeinflüsse auf die Bakterien kalkulieren. Solche Kalkulationen ergeben, dass ein großer Teil der planktischen bakteriellen Produktion in großen Fließgewässern (im Mittel meist zwischen 50 und 100%) alleine durch Protozoen – insbesondere durch Flagellaten – konsumiert werden kann (Carlough und Meyer, 1991; Weitere und Arndt, 2002b). Auf der Ebene der Hauptbakterienkonsumenten werden somit ähnliche Muster wie in Seen gefunden. Wer aber konsumiert die HF und auch die Algen im Plankton von Fließgewässern? Hier scheint die Faustregel zu gelten: Je kleiner, je wichtiger. Der Einfluss großer Wasserflöhe ist meist gering; die Rädertierchen sind in der Regel die umsatzstärksten Komponenten der Me-



**Abb. 7:** Mittelwerte der Wachstums- und Verlustraten der HF im Niederrhein ermittelt aus einer Kombination von fließwasserkonformen Beprobungen und Fraktionierungsexperimenten (nach Weitere und Arndt, 2002a). Im Frühjahr überschritten die Verluste das Bruttowachstum, das heißt, die Abundanzen nahmen entlang der Fließstrecke ab.

tazoen, auch wenn sie oft nur in der Lage sind, pro Zeiteinheit einen geringen Teil des Nano- und Mikroplanktons zu konsumieren (Gosselain et al., 1998). Deren Einfluss auf Algen wird meist von dem der Ciliaten übertroffen. Eine interessante Zusammensetzung der Konsumenten von Nanoplankton (Größenbereich zwischen 2 und 20  $\mu\text{m}$ , in den viele Algen und HF fallen) wurde im Rhein gefunden. Hier leisteten so genannte große heterotrophe Flagellaten (> 20  $\mu\text{m}$ ) vermutlich einen höheren Umsatz an Nanoplankton als die Ciliaten und Metazoen, auch wenn deren absoluter Umsatz im Vergleich zur potentiellen Algenproduktion immer noch gering ist (Weitere, 2001). Der relativ hohe Umsatz der großen Flagellaten überrascht, da diese Gruppe in Stoffflusskalkulationen oft ignoriert wird. Dies liegt aber vermutlich an der in diesem Fall unzureichenden Erfassungsmethode der Flagellaten (Arndt et al., 2000), da gezielte Untersuchungen die quantitative Bedeutung der großen heterotrophen Flagellaten auch in anderen Flüssen belegen (Arndt und Mathes, 1991; Lair et al., 1999).

Der Anteil der einzelnen Gruppen im planktischen Nahrungsgewebe kann sowohl jahreszeitlich als auch zwischen verschiedenen Fließgewässern stark schwanken. Arbeiten, die alle

wichtigen planktischen Gruppen in einem Jahresgang erfassen und potentielle Stoffflüsse kalkulieren, gibt es bisher für Fließgewässer nur wenige. Während in der Maas ein großer Teil der Algenproduktion vom vielzelligen Zooplankton konsumiert wird (Servais et al., 2000), sehen die Verhältnisse im Rhein grundlegend anders aus (Weitere, 2001). Während auch hier ein großer Teil der bakteriellen Produktion durch planktische HF konsumiert wird, wird nur ein geringer Teile der potentiellen Produktion der Algen, HF und Ciliaten von anderen Planktern konsumiert. Interessanterweise nehmen die Plankter aber kaum in ihrer Abundanz entlang der Fließstrecke zu; teilweise nehmen sie sogar deutlich ab. Es stellt sich die Frage, wo die planktische Produktion bleibt, wenn sie weder im planktischen Nahrungsgewebe umgesetzt wird noch zu einer Akkumulation von Biomasse entlang der Fließstrecke führt.

### **Neue Konzepte zur Steuerung des Potamoplanktons**

Unter der Annahme, dass das Plankton im Fließgewässer hauptsächlich vom Abfluss reguliert wird, lässt sich die Besiedlung der Wassersäule vereinfacht mit der Primärbesiedlung eines Wasserbottichs erklären, nur mit dem Unterschied, dass sich der Wasserkörper im Fließgewässer stromabwärts Richtung Meer bewegt. Gibt man in den Bottich ein wenig Wasser mit Plankton (analog zur Beimpfung der fließenden Welle durch angebundene Gewässer), so vermehren sich bei ausreichender Nahrung zunächst die schnell wachsenden Plankter. Es werden Bakterien wachsen und darauf folgend auch die sich schnell vermehrenden Bakterienkonsumenten, die Protozoen. Parallel werden sich die Algen vermehren. Erst wenn genügend kleines Plankton als Futter vorhanden ist, wird das vielzellige Zooplankton wachsen. Gibt man irgendwann Salz in den Bottich – der Fluss hat das Meer erreicht –, werden viele Plankter sterben, aber einige, die diese Umstellung tolerieren können (besonders Vertreter der Bakterien und Protozoen), werden auch dann weiter leben. Je nachdem, wann dies der Fall ist, wird sich viel oder wenig Zooplankton entwickeln können. Die Menge des Zooplanktons zu einer bestimmten Zeit ist also neben der Anzahl des eingebrachten Planktons und der Nährstoffsituation vor allem von der Zeit abhängig.

Oberflächlich betrachtet, lässt sich mit dieser Vorstellung viel über die Situation des Zooplanktons in Fließgewässern erklären: Die geringen Dichten der Vielzeller, die im Unterlauf oft zunehmen, sowie die relativ hohen Dichten der schnell wachsenden Einzeller. Bei genauerer Analyse ist diese Betrachtung aber unvollständig. Viele Flüsse durchfließen Stillgewässer mit im Vergleich zur fließenden Welle hohen Dichten an Plankton. Untersucht man das Wasser einige Kilometer abwärts des Seenausflusses, so sind die Planktondichten oft deutlich geringer als im See. Eine solche Abnahme ist unterdessen sowohl für das Phytoplankton als auch für das Zooplankton in mehreren Systemen gut dokumentiert (Welker und Walz, 1998; Bahnwart et al., 2000; Köhler et al., 2002).

Während die meisten bisherigen Arbeiten über Plankton in Fließgewässern meist der Frage nachgehen, woher das Plankton kommt und wie schnell es die fließende Welle besiedeln kann, muss man sich hier fragen, wo das Plankton im Flussverlauf bleibt. Hat man früher als Erklärung für die Abnahme meist die ungünstigen abiotischen Bedingungen (Turbulenz, Trübung) im Fluss herangezogen, so werden in neueren Arbeiten vermehrt Verlustprozesse betrachtet. Neben passiven Verlusten (beispielsweise durch Sedimentation, Sedimentfiltration) werden neuerdings vermehrt Verluste an das Benthos berücksichtigt (Welker und Walz, 1998; Weitere, 2002a). Besonders im Unterlauf der Fließgewässer kommen viele benthische Filtrierer aus unterschiedlichen Invertebratengruppen vor. Jedoch wurde oft bezweifelt, dass sie tatsächlich die Massen an Plankton, die den Fluss herabtransportiert werden, dezimieren können. Ältere Arbeiten, die einen solchen Verlust an das Benthos indizierten, beschränkten sich meist auf Sondersituationen wie Seenausflusssysteme und den Einfluss von massenhaft eingewanderten Neozoen auf das Plankton von Fließgewässern. Erst in jüngster Zeit mehren sich die Zeichen, dass die benthische Steuerung tatsächlich ein verbreitetes Phänomen in Fließgewässern ist, auch wenn die Intensität der benthopelagischen Kopplung in den verschiedenen Fließgewässern sehr unterschiedlich sein kann.

Kommen wir zurück zu Abbildung 7, in der mittlere Wachstums- und Verlustraten für die HF im Rhein für die vier Jahreszeiten aufgeführt sind. Sie sind aus kombinierten Laborexperimenten und fließwasserkonformen Beprobungen ermittelt worden. Meist gibt ein großer

Teil der HF Produktion verloren; im Frühjahr waren es gar über 100%, das heißt, die HF Abundanz nahm entlang der Fließstrecke ab. Dabei ließen sich die Verluste nur zu einem Teil durch Fraß von anderen Planktern erklären. Auch wenn man den Fraß durch das Benthos nur schlecht direkt messen kann, so zeigen die Daten dennoch Indizien, dass dieser Teil der Verluste hauptsächlich auf das Benthos zurückzuführen ist: Die Verluste zeigen eine starke Saisonalität (mit hohen Werten im Sommer und niedrigen im Winter), die mit dem Auftreten und der Aktivität des Benthos korreliert ist. Dies schließt passive Verluste aus und legt die Aktivität des Benthos als Erklärung nahe. Eine interessante Konsequenz aus den jahreszeitlich unterschiedlichen Verlusten ist, dass der Nettowachstum, den man im Rhein entlang der Fließstrecke beobachtet, im Winter trotz niedriger Bruttowachstumsraten höher ist als im Sommer. Während sich die HF im Winter nach etwa drei Tagen Fließzeit verdoppeln haben, ist dies im Sommer erst nach 13 Tagen der Fall. In dieser Zeit hat ein Wasserpaket vom Bodensee das Meer in den Niederlanden erreicht.

Solche zunächst paradox erscheinenden Muster lassen sich nur mit jahreszeitlich unterschiedlichen Verlusten entlang der Fließstrecke erklären, wie sie durch benthische Organismen hervorgerufen werden. Mit den Verlusten an das Benthos lässt sich aber auch die Dominanz der Protozoen im Plankton von Fließgewässern erklären und zwar auch in solchen Fließgewässern, die Seen durchfließen und in denen damit große Mengen an vielzelligem Zooplankton in die fließende Welle eingewaschen werden. Protozoen sind nämlich aufgrund ihrer hohen Wachstumsraten nicht nur zu einer schnellen Primärbesiedlung des Wasserkörpers in der Lage, sie können auch Verluste wesentlich besser kompensieren als die langsamere wachsenden Vielzeller. Im Ober- und Mittelrhein nahmen die Vielzeller sehr stark entlang der Fließstrecke ab, die Ciliaten leichter ab und die HF leicht zu (Scherwass, 2001; Weitere, 2001). In dieser Reihung nehmen auch die potentiellen Wachstumsraten der Gruppen zu, was den Schluss nahe legt, dass Metazoen und Ciliaten nicht in der Lage waren, die Verluste an das Benthos zu kompensieren, während es die schnell wachsenden Flagellaten waren.

Es ist jedoch auch zu beachten, dass die Verluste an das Benthos für die einzelnen planktischen Gruppen sehr unterschiedlich sein können und

von der Zusammensetzung der benthischen Gemeinschaft abhängen. In großen Fließgewässern sind es meist Muscheln wie beispielsweise die Dreikantmuschel (*Dreissena polymorpha*) und die Körbchenmuschel (*Corbicula* spp.), die als effektive Filtrierer gesehen werden. Es kommen jedoch auch zahlreiche andere und je nach Flussabschnitt und Gewässergüte sehr unterschiedliche vielzellige benthische Vertreter wie etwa Eintagsfliegenlarven, Köcherfliegenlarven und Schlickkrebse in Frage. Von vielen potentiellen benthischen Plankton-Konsumenten wissen wir bis heute kaum etwas über deren Rückhaltekapazität. Dazu gehören zum Beispiel Larven der Zuckmückengattung *Rheotanytarsus*, die im Rhein in hohen Dichten vorkommen. Als passive Filtrierer halten sie Partikel mit Hilfe von Spinnfäden an ihrer Wohnröhre zurück.

Aber auch kleine benthische Organismen, wie an Hartsubstrat (Steine, Wasserpflanzen, Totholz) assoziierte Rädertierchen und Protozoen, können im hohen Maße Plankton konsumieren (Weitere, 2001; Arndt et al., im Druck). Jede dieser benthischen Gruppen hat bestimmte Größenspektren, die optimal filtriert werden können, und beeinflusst damit selektiv die planktische Gemeinschaft. Bisher stehen wir in unserem Verständnis zu den komplexen benthopelagischen Wechselwirkungen erst am Anfang. Interessant ist aber, dass viele Gruppe sehr effektiv Partikel im Größenbereich der Protozoen zurückhalten können, während Partikel im Größenbereich der Bakterien weniger gut zurückgehalten werden (Sprung und Rose, 1988, für die Muschel *Dreissena polymorpha*; Weitere, 2001, für biofilmassoziierte Ciliaten

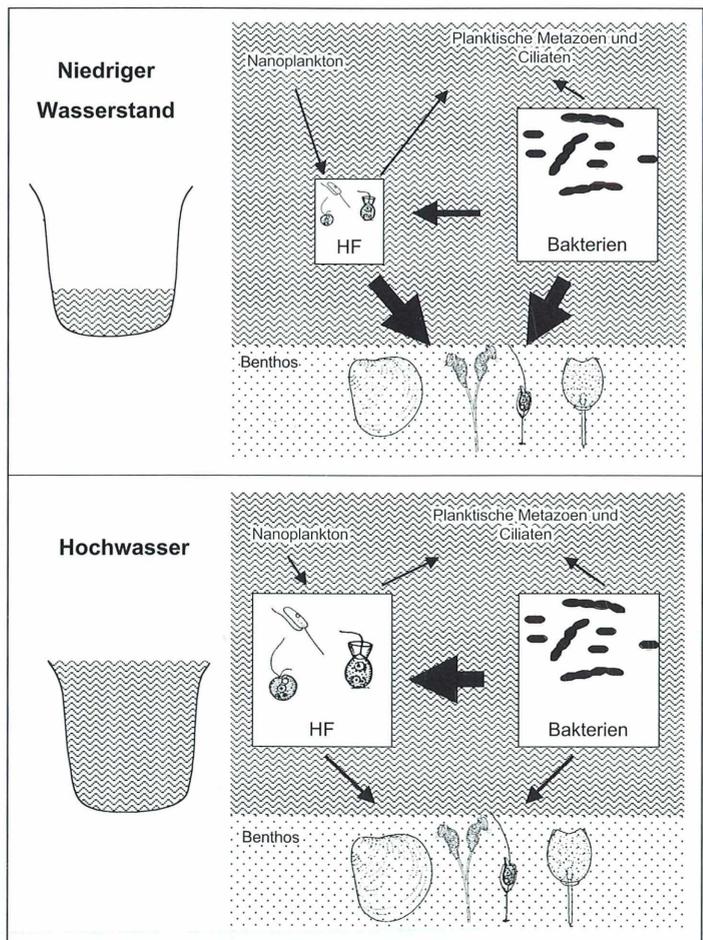


Abb. 8: Vorstellung zur Steuerung der HF und Bakterien im Niederrhein in Abhängigkeit vom Wasserabfluss (nach Weitere, 2001). Mit steigendem Wasserstand sinken die relativen Verluste vom Plankton an das Benthos und die Steuerungsmechanismen innerhalb des Planktons nehmen an Bedeutung zu (vergleiche Abb. 4).

und Rotatorien). Somit stehen die planktischen Protozoen als ein wichtiges Bindeglied zwischen den planktischen Bakterien und dem Benthos im Nahrungsgewebe. Anders als früher angenommen, können somit Teile des Zooplanktons als wichtige Komponenten im Stoffflussgeschehen der Fließgewässer stehen.

### **Auch die Hydrologie ist wichtig**

Die Intensität des benthischen Fraßes auf das Plankton ist neben der Rückhaltekapazität der benthischen Gemeinschaft von der Kontaktwahrscheinlichkeit zwischen Plankton und Benthos abhängig. Somit sind es nicht nur die Zusammensetzung der benthischen Gemeinschaft, sondern auch die hydrologische Eigenschaft des Fließgewässers, welche die relativen Verluste an das Benthos mitbestimmen. Von besonderer Bedeutung ist dabei das Verhältnis von Wasservolumen zu Gewässerboden. Dies unterscheidet sich nicht nur zwischen verschiedenen Fließgewässern, sondern auch zwischen verschiedenen Abschnitten und Pegelständen ein und desselben Gewässers. Entsprechend unterscheidet sich auch die Kontaktwahrscheinlichkeit zwischen den Planktonern und dem besiedelten Gewässerboden und somit der relative Verlust an das Benthos (Köhler et al., 2002; Weitere und Arndt, 2002a). Im Rhein sind diese wasserstandsabhängigen Verluste vermutlich die Ursache für die starke Abhängigkeit der HF Abundanz vom Wasserabfluss (Weitere und Arndt, 2002a; Abb. 4). Innerhalb von wenigen Tagen kann mit einem Hochwasser (relativ geringe Verluste an das Benthos aufgrund geringerer Kontaktwahrscheinlichkeit im Vergleich zu niedrigem Wasserstand) die HF Abundanz um ein Vielfaches zunehmen. Solche wasserstandsabhängigen Änderungen haben wiederum starke Konsequenzen für die Interaktionen innerhalb des planktischen Nahrungsgewebes, zum Beispiel für die Steuerung der Bakterien (Weitere und Arndt, 2002b; Abb. 8). Während der Einfluss der HF auf die Bakterien bei Niedrigwasser relativ gering ist, können sie bei Hochwasser einen großen Teil (teilweise vermutlich über 100%) der bakteriellen Produktion konsumieren. Dieses Beispiel verdeutlicht, welch starken Einfluss hydrologische und gewässermorphologische Eigenschaften eines Fließgewässers auf die Wechselwirkungen der Organismen haben

können. Unter unseren Fließgewässern gibt es, soweit man weiß, alle denkbaren Übergänge von flachen und turbulenten Fließgewässern (hohe Kontaktwahrscheinlichkeit zum Benthos) bis hin zu tiefen, teils sogar geschichteten Fließgewässern (geringe Kontaktwahrscheinlichkeit zum Benthos). Die Substrateigenschaften und damit die Lebensräume für das Benthos unterscheiden sich oft erheblich. Es ist daher auch zu vermuten, dass es in der Natur alle möglichen Übergänge von einer starken Steuerung der planktischen Gemeinschaft durch das Benthos gibt, bis hin zu Fließgewässern, in denen das Benthos nur eine untergeordnete Rolle spielt.

### **Schlussfolgerung**

Diese Übersicht zeigt, dass das Zooplankton in Fließgewässern durchaus auch quantitativ von Bedeutung ist. Der größte Teil der Gesamtzooplankton-Biomasse fällt in der Regel auf die Einzeller. Die Protozoen leisten einen hohen Stoffumsatz und sind Teil eines komplexen Nahrungsgewebes, in dem das Plankton nicht isoliert betrachtet werden darf, sondern die funktionelle Verbindung zum Benthos wichtig sein kann. Protozoen sind dabei möglicherweise ein wichtiges Bindeglied in der Nahrungskette zwischen Bakterien und dem Benthos und stellen damit auch letztendlich ein wichtiges Glied in der Selbstreinigungskette der Fließgewässer dar.

### **Literaturhinweise**

- Arndt, H.: Protozoen als wichtige Komponente des Planktons von Tieflandflüssen. Tagungsbericht der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL) 1991 in Mondsee, 458–462 (1991).
- Arndt, H.: Protozoen als wesentliche Komponente pelagischer Ökosysteme von Seen. Kataloge des Ö. Landesmuseums 71, 111–47 (1994).
- Arndt, H., Dietrich, D., Auer, B., Cleven, E.-J., Gräfenhan, T., Weitere, M., Mylnikov, A. P.: Functional diversity of heterotrophic flagellates in aquatic ecosystems. In: Leadbeater, B. S. C., Green, J. C. (eds.): *The Flagellates*, S. 240–268. Taylor and Francis, London 2000.
- Arndt, H., Mathes, J.: Large heterotrophic flagellates form a significant part of protozooplankton biomass in lakes and rivers. *Ophelia* 33, 225–234 (1991).
- Arndt, H., Schmidt-Denter, K., Auer, B., Weitere, M.: Biofilms and protozoans. In: Krumbein, W. E., Pa-

- terson, D. M., Zavarzin, G. A. (eds.): Fossil and recent biofilms, mats and networks. Kluwer Academic Publishers, Heidelberg, im Druck.
- Azam, F., Fenchel, T., Field, J., Gray, J., Meyer-Reil, L.-A., Thingstad, F.: The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 10, 257–263 (1983).
- Bahnwart, M., Ockenfeld, K., Hübener, T., Schubert, H.: Wachstums- und Verlustprozesse des Phytoplanktons im Oberlauf der Warnow. Tagungsbericht der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL) 1999 in Rostock, 708–713 (2000).
- Basu, B. K., Pick, F. R.: Factors related to heterotrophic bacterial and flagellate abundance in temperated rivers. *Aquat. Microb. Ecol.* 12, 123–129 (1997).
- Bergfeld, T.: Dynamics of microbial food web components in three large rivers (Rhine, Mosel and Saar) with the main focus on heterotrophic nanoflagellates. Doktorarbeit, Universität zu Köln, 1–99 (2002).
- Brehm, V.: 1911. Beobachtungen über die Entstehung des Potamoplanktons. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.* 4, 311–314 (1911).
- Carlough, L. A., Meyer, J. L.: Bacteriivory by sestonic protists in a southeastern blackwater river. *Limnol. Oceanogr.* 36, 873–883 (1991).
- Cleven, E.-J.: Grazing-Kontrolle der Bakterien- und Flagellaten (HNF)-Produktion durch ausgewähltes Protozooplankton im Bodensee. Doktorarbeit, Universität Konstanz, 1–172 (1995).
- Fenchel, T.: The ecology of protozoa: The biology of free-living phagotrophic protists. *Science Technical, Madison, Wisconsin* 1987.
- Gosselain, V., Viroux, L., Descy, J.-P.: Can a community of small-bodied grazers control phytoplankton in rivers? *Freshw. Biol.* 39, 9–4 (1998).
- Hausmann, K.: Fressen und gefressen werden im Mikrokosmos – Der ewige Kampf ums Überleben und seine Komplikationen. *Mikrokosmos* 90, 157–164 (2001).
- Köhler, J., Bahnwart, M., Ockenfeld, K.: Growth and loss processes of riverine phytoplankton in relation to water depth. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 87, 241–254 (2002).
- Lair, N., Jacquet, V., Reyes-Marchant, P.: Factors related to autotrophic potamoplankton, heterotrophic protists and micrometazoan abundance at two sites in a lowland temperate river during low water flow. *Hydrobiologia* 394, 13–28 (1999).
- Lauterborn, R.: Diagnosen neuer Protozoen aus dem Gebiet des Oberrheins. *Zool. Anz.* 19, 14–18 (1896).
- Posch, T., Arndt, H.: Uptake of sub-micrometre and micrometre-sized detrital particles by bacterivorous and omnivorous ciliates. *Aquat. Microb. Ecol.* 10, 45–53 (1996).
- Scherwaß, A.: Seasonal dynamics and mechanisms of control of ciliated potamoplankton in the River Rhine. Doktorarbeit, Universität zu Köln, 1–121 (2001).
- Scherwaß, A., Arndt, H.: Ciliaten im Potamoplankton des Rheins: Reines Driftphänomen oder eigene Planktongemeinschaft? Tagungsbericht der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL) 1999 in Rostock, 699–702 (2000).
- Schwörbel, J.: Einführung in die Limnologie. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 1999.
- Servais, P., Gosselain, V., Joaquim-Justo, C., Bécquevort, S., Thomé, J., Descy, J.-P.: Trophic relationships between planktonic microorganisms in the river Meuse (Belgium): a carbon budget. *Arch. Hydrobiol.* 149, 625–653 (2000).
- Sieben, K.-T.: Das Zooplankton des Rheins unter Berücksichtigung der Drift benthischer Neozoenlarven. Diplomarbeit, Universität zu Köln (2002).
- Sorokin, Y. I.: Microheterotrophic organisms in marine ecosystems. In: Longhurst, A. R. (eds.): *Microheterotrophic organisms in marine ecosystems*, S. 293–342. Academic Press, London 1981.
- Sprung, M., Rose, U.: Influence of food size and food quality on the feeding of the mussel *Dreissena polymorpha*. *Oecologia* 77, 526–532 (1988).
- Weitere, M.: The heterotrophic nanoflagellates in the water column of the River Rhine: Seasonal and spatial dynamics and their position in the food web. Doktorarbeit, Universität zu Köln, 1–133 (2001).
- Weitere, M., Arndt, H.: Die heterotrophen Nanoflagellaten im Potamoplankton des Rheins: Abundanz, taxonomische Struktur und der besondere Einfluß der Wasserführung. Tagungsbericht der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL) 1999 in Rostock, 703–707 (2000).
- Weitere, M., Arndt, H.: Top-down effects on pelagic heterotrophic nanoflagellates (HNF) in a large river (River Rhine): do losses to the benthos play a role? *Freshw. Biol.* 47, 1437–1450 (2002a).
- Weitere, M., Arndt, H.: Water discharge-regulated bacteria/heterotrophic nanoflagellates (HNF) interactions in the water column of the River Rhine. *Microb. Ecol.* 44, 19–29 (2002b).
- Welker, M., Walz, N.: Can mussels control the plankton in rivers? – A planktological approach applying a Lagrangian sampling strategy. *Limnol. Oceanogr.* 43, 753–762 (1998).
- Wörner, U., Zimmermann-Timm, H., Kausch, H.: Struktur, Abundanz und mikrobielle Besiedlung von Aggregaten im Verlauf der Elbe – ein Frühsummeraspekt. Tagungsbericht der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL) 1999 in Rostock, 801–805 (2000).
- Wörner, U., Zimmermann-Timm, H., Kausch, H.: Aggregate-associated bacteria and heterotrophic flagellates in the River Elbe – their relative significance along the longitudinal profile from km 46 to km 583. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 87, 255–266 (2002).
- Zacharias, O.: Das Potamoplankton. *Zool. Anz.* 21, 41–48 (1898).
- Zimmermann-Timm, H.: Characteristics, dynamics and importance of aggregates in rivers. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 87, 197–240 (2002).

*Verfasser:* Dr. Markus Weitere, FU Berlin, Institut für Biologie/Zoologie, AG Protozoologie, Königin-Luise-Str. 1–3, D-14195 Berlin. Aktuelle Adresse: University of New South Wales, School of Biotechnology and Biomolecular Sciences, Centre for Marine Biofouling and Bio-Innovation, Sydney 2052, Australien, e-mail: mweiter@arcor.de

## *Pediastrum biradiatum* – Immer seltener?

Ernst Hippe

**Auch wer nur gelegentlich Teiche und Tümpel unter die Linse nimmt, kennt bestimmt die Grünalgenart *Pediastrum*, das Zackenrädchen. So war der Autor überrascht, nach vier Jahrzehnten häufigen Tümpelns noch eine zusätzliche Art zu entdecken: Eine besonders eindrucksvolle, wie das Titelbild dieses Heftes zeigt.**

Die Gattung *Pediastrum* ist gekennzeichnet durch einen Zellverband (Coenobium), der je nach Art einen typischen regelmäßigen Aufbau zeigt. Er besteht aus nur einer flachen Zellenlage. Dabei unterscheiden sich die Randzellen der im Ganzen rundlichen Anordnung deutlich von den Zellen im Inneren. Bei manchen Arten liegen diese dicht aneinander, zum Beispiel bei der häufigsten Art *P. boryanum*, oder weisen Lücken oder Löcher auf wie bei dem auch sehr häufigen *P. duplex*. Streble und Krauter (1988) geben eine gute Übersicht. Nach meinem Fund in einem kleinen Wasserpflanzenbecken eines botanischen Gartens freute ich mich, die Alge mit Hilfe dieser Autoren bestimmen zu können: *P. biradiatum* (Abb. 1). Der neueste Stand der Artbeschreibungen findet sich bei Komárek und Jankovská (2001).

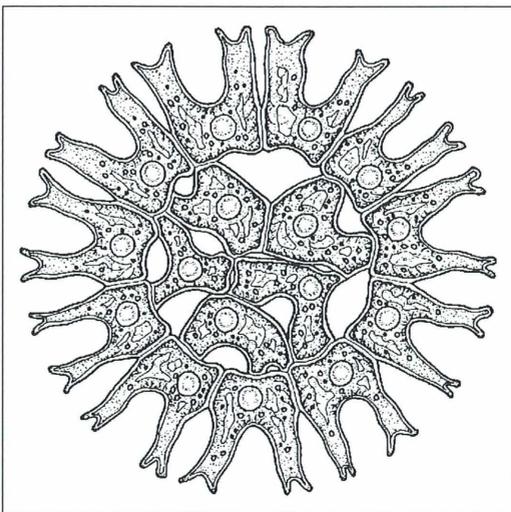


Abb. 1: *P. biradiatum* mit ungeordneten Innenzellen (Aus: Streble und Krauter, 1988).

### Aufbau

Der Vergleich des Titelbildes oder Abbildung 2 mit Abbildung 1 bestätigt die Beobachtung, dass die mittleren Zellen bei *P. biradiatum* entweder ungeordnet liegen können oder sternförmig geordnet mit einer Aussparung in der Mitte. Sie sind etwa x-förmig und nur an den Enden untereinander und mit den Randzellen verbunden. Dadurch entstehen regelmäßige Löcher. Insgesamt hängen hier 16 Zellen zusammen: Innen immer fünf und außen 11. Da die Teilung beider Ringe zahlenmäßig nicht zueinander passt, muss eine Stelle unregelmäßig werden. Bei genauem Betrachten sieht man es gut. Die Randzellen fallen durch je zwei gegabelte Arme auf, jeder mit zwei äußeren Spitzen. Die Randzellen sind etwa H-förmig mit kürzeren inneren Enden, von denen jedes mit einer benachbarten Randzelle und einer Mittelzelle verbunden ist.

In einer Probe kann man Coenobien verschiedener Größe finden: zwei Ringe mit 1 + 7 Zellen (Abb. 2 links), zwei Ringe mit 5 + 11 Zellen wie besprochen und drei Ringe mit 32 Zellen. Auch die letztere Form gab es gelegentlich in meiner Probe; leider fand ich keine Abbildung

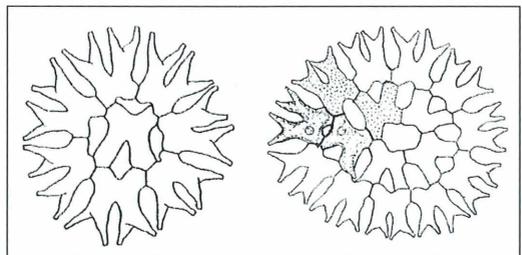


Abb. 2: *P. biradiatum* mit 1 + 7 Zellen (links); geordnete 5 + 11 Zellen (rechts) (Aus: Komárek und Jankovská, 2001).

in der Literatur, und ein Foto fehlt auch, weil nach dem Transport keine solche Form mehr gesichtet wurde. Die Zellen sind mit einem schönen hellgrünen Chloroplasten gefüllt und enthalten ein Pyrenoid. Öfter findet man auch geleerte Zellen. Die Gesamtgröße des Titelbild-Exemplars beträgt  $71 \mu\text{m} \times 60 \mu\text{m}$ ; die größten beobachteten Durchmesser erreichen  $90 \mu\text{m}$ .

### Varianten und Bestimmung

Während die beschriebenen Formen keine Varianten darstellen, scheint es in Bezug auf Zelloberfläche und Außenspitzen gewisse Variationen zu geben. In der Literatur findet man, dass sich die Meinungen hierzu immer wieder geändert haben. Nach Komárek und Jankovská (2001) heißt die beobachtete Art *P. biradiatum* var. *biradiatum*. Wie man bei der Bestimmung in die Irre geführt werden kann, zeigt eine Abbildung bei Klotter (1957), die etwas schematisch innen sieben und außen 13 Zellen darstellt. Ähnlich täuschend geht es auf einer sehr schön farbigen Tafel von E. Jenner zu (Internet, siehe Literaturhinweise). Dort stimmen zwar die Zellenzahlen, die allzu stumpfeckigen Zellen liegen aber mit gleichmäßigen Abständen nebeneinander. Solche Ungenauigkeiten oder Idealisierungen findet man auf älteren Abbildungen öfter. Deshalb sollte man bei jeder Bestimmung möglichst mehrere Autoren berücksichtigen, vorzugsweise solche, die nicht nur die Bilder von einander übernommen haben.

### Fortpflanzung und Formen

Bei dieser Gelegenheit lohnt ein Blick auf die Gattung *Pediastrum* generell. Komárek und Jankovská (2001) beschreiben den fast ausschließlich asexuellen Fortpflanzungszyklus: In den Zellen des Coenobiums bilden sich aus den mehrfach geteilten Kernen zweigeißelige Zoosporen. Diese treten aus der Zelle in einer Blase aus und bilden dort jeweils ein neues Coenobium. Das dauert nur etwa 30 Minuten; leider konnte ich es bisher nicht beobachten. Die Zellenanzahl des Tochter-Coenobiums bleibt bei dem folgenden Größenwachstum konstant. Die Autoren schreiben: *Alle Zellen des Coenobiums sind fähig, den gleichen Typ von Tochter-Coenobien zu bilden*. Ob in einer Mutterzelle auch beispielsweise halb oder doppelt so viele

Zoosporen wie die Zellenanzahl des Muttercoenobiums entstehen können, ist nicht erwähnt. Jedenfalls ist die Zellenanzahl immer eine Zweierpotenz, keine Anzahl dazwischen. Sie entspricht nämlich der Anzahl der Kernteilungsschritte und damit der in der Mutterzelle gebildeten Zoosporen. Die Autoren fügen an, dass Umweltbedingungen die jeweilige Anzahl beeinflussen können. Offen bleibt, ob die sehr seltene sexuelle Fortpflanzung hierbei einen Einfluss hat. Sicher ist, dass in einem Biotop Formen verschiedener Zellenanzahl nebeneinander auftreten, auch wenn eine Form – hier bei *P. biradiatum* mit 16 Zellen – deutlich vorherrscht. Derartiges habe ich häufig auch bei anderen *Pediastrum*-Arten beobachtet.

### Vorkommen

*P. biradiatum* ist eine seltene Art; sie kommt wahrscheinlich weltweit vor, aber sehr vereinzelt. Bevorzugt werden kleine saubere Gewässer, auch solche kleinen Becken mit Wasserpflanzen wie mein Fundort. Dies schreiben auch Komárek und Jankovská (2001), und sie vermerken: *Die Anzahl der Fundorte scheint in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich abzunehmen*. Vielleicht ist dies ein Beispiel für die oft beschworene Abnahme der Artenvielfalt. So muss man froh sein, dieser schönen Alge noch zu begegnen.

### Danksagung

Herrn Dr. M. Kreutz, Konstanz, danke ich für das Titelfoto und seine Hilfe bei der Literaturrecherche.

### Literaturhinweise

- Klotter, H.-E.: Grünalgen (Chlorophyceen). Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart 1957.  
 Komárek, J., Fott, B.: Chlorophyceae. In: Huber-Pestalozzi, G. (Hrsg.): Das Phytoplankton des Süßwassers – Die Binnengewässer 16,7/1. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1983.  
 Komárek, J., Jankovská, V.: Review of the green algal genus *Pediastrum*: Implication for pollenanalytical research. Cramer, Berlin 2001.  
 Streble, H., Krauter, D.: Das Leben im Wassertropfen. Frankh-Kosmos Verlag, Stuttgart 1988.  
 Internet: Tafel XXXI aus [www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/ralfs/180.htm](http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/ralfs/180.htm)

Verfasser: Ernst Hippe, Meisenstr. 10, D-63263 Neu-Isenburg

## Ein Beitrag zur Videomikroskopie (Mikrovideografie)

Gerhard Göke

Ganz im Gegensatz zur Filmtechnik ist die Fernseh- oder Videotechnik ein flüchtiges Medium, das ohne einen festen Träger (Film) arbeitet. Die Bilder können sofort auf einen Monitor übertragen werden. Man muss sie jedoch gesondert speichern, zum Beispiel mit einem Videorecorder, wenn sie nicht verloren gehen sollen. Die ersten Videokameras waren groß und unhandlich, denn sie nahmen das Bild über eine Röhre auf. Anfang der 80er Jahre war die CCD-Technik weit genug fortgeschritten, dass die Röhrenkameras mehr und mehr durch CCD-Kameras ersetzt werden konnten. Das hatte auch Auswirkungen auf die Mikrovideografie. Mikroskope mit adaptierter Videoröhrenkamera gab es schon in den 50er Jahren. Erst mit der Entwicklung hochauflösender CCD-Sensoren für das Spektralgebiet von Ultraviolett bis Infrarot erlebte die Videomikroskopie einen großen Aufschwung. Die Kameras wurden immer kleiner und handlicher.

Das Kernstück der CCD-Kamera ist der CCD-Chip (CCD = Charged Coupled Device), was soviel wie ladungsgekoppelter Sensor bedeutet. Dieser Sensor besitzt eine Vielzahl lichtempfindlicher Punkte (Pixel), die in Zeilen und Spalten angeordnet sind. Auf einer rechteckigen Silizium-Fläche sind viele Tausend, bei den modernen Digitalkameras sogar Millionen lichtempfindlicher Dioden zusammengeschaltet.

### Der CCD-Sensor

Ein Standard-Chip, wie er in Kameras mit üblichem Auflösungsvermögen eingebaut wird, besitzt zum Beispiel  $768 \times 576$  aktive Fotodioden. Die Größe einer einzelnen Diode beträgt etwa  $10 \mu\text{m}$  oder weniger. In diesen Dioden erzeugt einfallendes Licht eine elektrische Ladung, die von einer nachgeschalteten Elektronik ausgelesen und verstärkt wird. Die Größe eines Chips wird in Inch (= Zoll) angegeben, ein Maß, das von der Video-Röhrentechnik übernommen wurde. Typische Sensormäße in Videokameras sind  $1/3$  Inch (=  $3,6 \text{ mm} \times 4,8 \text{ mm}$ ),  $1/2$  Inch (=  $4,8 \text{ mm} \times 6,4 \text{ mm}$ ) und  $2/3$  Inch (=  $6,6 \text{ mm} \times 8,8 \text{ mm}$ ). Das entspricht Diagonalen von 6,8 und 11 mm (Abb. 1). In der Mikroskopie wer-

den tendenziell  $1/2$  Inch-CCDs eingesetzt. Abbildung 1 zeigt auch den Vergleich mit einem Kleinbildformat, dessen Diagonale  $43,2 \text{ mm}$  beträgt. Über die Bedeutung der Chip-Größe in der Videomikroskopie wird später berichtet. Die heute üblichen Chips haben drei prinzipiell unterschiedliche Chiparchitekturen:

Beim *Full Frame CCD* stehen alle Fotodioden für die Bildaufnahme zur Verfügung, wodurch die bestmögliche Auflösung erreicht wird. Es ist jedoch ein mechanischer Verschluss erforderlich, um nach erfolgter Belichtung die Ladung der einzelnen Dioden auslesen zu können, bevor eine erneute Belichtung möglich ist.

Beim *Frame Transfer CCD* ist eine Hälfte des Chips für die Bildaufnahme, die andere als Zwischenspeicher ausgelegt. Ein mechanischer Verschluss ist hierbei nicht erforderlich sondern nur ein *electronic shuttering*, eine elektronische Verschluss-Simulation. Nur die Hälfte der Dioden steht für die Bildaufnahme zur Verfügung. Beim *Interline Transfer CCD* wechseln sich Reihen von lichtempfindlichen Dioden mit Reihen von maskierten Dioden für die Zwischenspeicherung ab. Das ist heute das gebräuchlichste Design für CCD-Sensoren. Ein Auslesen der Ladungen kann sehr schnell erfolgen, aber nur 23% des Chips sind lichtempfindlich und tragen zur Bildentstehung bei.

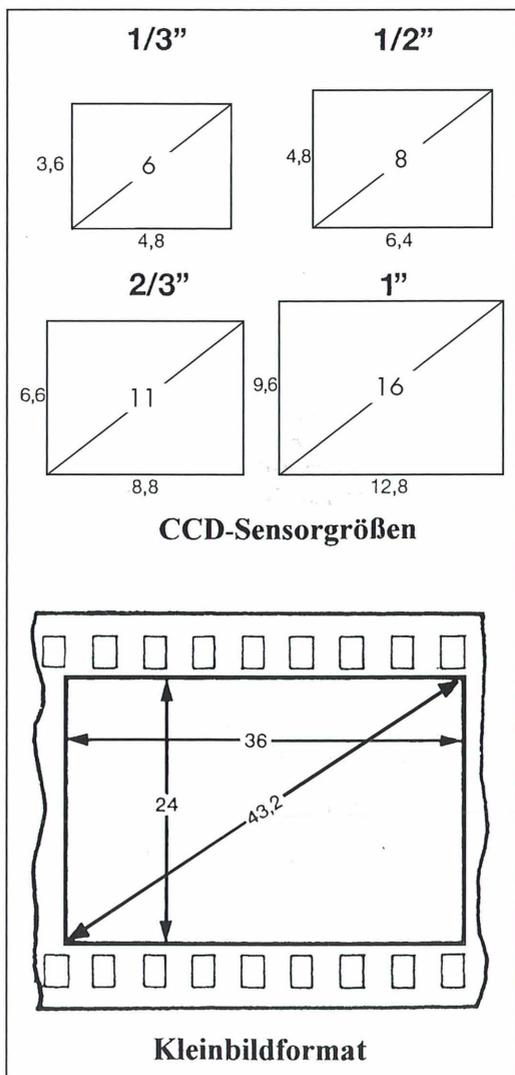


Abb. 1: CCD-Sensorgrößen im Vergleich zum Kleinbildformat. Alle Maße in Millimetern.

### Wissenswertes über Pixel

Die kleinste Bildinformationseinheit auf dem CCD-Sensor wird als Pixel (*picture element*) bezeichnet. Diese Pixel können durch digitale Bildverarbeitung modifiziert werden. Man kann sie zusammenfassen oder durch Interpolation vermehren. Diese Vermehrung der Pixel wirkt sich auf die Bildgröße aus, erhöht jedoch nicht die Auflösung. Weil vorhanden, werden auch

Camcorder mit fest eingebautem Objektiv an Mikroskope adaptiert. Diese Kameras haben ein optisches und ein digitales Zoom. Während das optische Zoom durch Verschieben der Linsen gegeneinander funktioniert (Veränderung der Brennweite), wird das digitale Zoom durch Interpolation (Vermehrung) der Pixel wirksam. Die Bildqualität wird dadurch verschlechtert. Die Bildauflösung ist abhängig vom Verhältnis der Pixelgröße zur Größe des abzubildenden Objekts. Das bedeutet, dass kleine, eng gepackte Dioden eine bessere Auflösung ermöglichen als große. Für die digitale Mikrofotografie sollten also Chips mit möglichst kleinen Dioden verwendet werden. Das ist besonders sinnvoll, wenn gleichzeitig die Fläche des Chips vergrößert wird, was allerdings den Chip wesentlich verteuert.

Ein CCD-Sensor kann zu einem *Pixel-Array* in nur einer Dimension angeordnet sein. Dann spricht man von einer Zeilenkamera. Bei einer zweidimensionalen Pixelanordnung in Form einer Matrix spricht man von einer Matrix- oder Flächenkamera. Unter diesen beiden Kamertypen kann man unter einem großen Angebot verschiedener Modelle auswählen, die sich prinzipiell nur in der Anzahl der Pixel, der Pixelgröße und im Videostandard unterscheiden.

### Lichtempfindlichkeit und spektrale Empfindlichkeit von CCDs

Die Lichtempfindlichkeit des CCD-Sensors wird hauptsächlich durch die Eigenschaften des verwendeten Halbleitermaterials bestimmt. Sie muss für den Einsatz in der Dunkelfeld-, Phasenkontrast-, Auflicht- und ganz besonders in der Fluoreszenzmikroskopie möglichst hoch sein. 0,25 bis 3 Lux werden ohne Kühlung des CCDs erreicht. Bei Zimmertemperatur besitzt der CCD-Chip ein gewisses Grundrauschen, eine Grundladung der einzelnen Fotodioden. Das wirkt sich auf die Detektion kleinster Lichtmengen, beispielsweise in der Fluoreszenzmikroskopie nachteilig aus. Zur Absenkung des Rauschens werden hier die CCDs mit Peltier-Elementen abgekühlt, manchmal bis auf  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Der Gamma-Wert, das heißt die Steilheit des Sensors, ist neutral und beträgt 1,0. Mit einer eingebauten Elektronik kann er bei manchen Kameras variiert werden.

Die spektrale Empfindlichkeit des Standard CCDs liegt zwischen 400 und 1000 nm mit ei-

nem Maximum zwischen 500 und 800 nm (Abb. 2). Der *Interline Transfer* ist im Bereich der kürzeren Wellenlängen empfindlicher. Um die CCD-Empfindlichkeit der des Auges anzupassen, wird meistens ein Infrarot-Sperrfilter eingebaut (Abb. 2). Es gibt jedoch Bereiche, auch in der Mikroskopie, wo die Infrarotempfindlichkeit erwünscht ist. Hierfür stehen heute spezielle NIR/IR-Kameras zur Verfügung, so dass die früher üblichen elektronenoptischen Bildwandler in den meisten Fällen nicht mehr erforderlich sind.

### Die Bildübertragung

Ein typischer CCD-Sensor hat einen dynamischen Bereich von maximal etwa 250, das heißt er kann etwa 250 Helligkeitsstufen wiedergeben. Hingegen liefern hochwertige CCDs 1000 und mehr Helligkeitsstufen. Das von einem einfachen CCD-Chip über eine 8 Bit Datenleitung übermittelte Bild ist immer schwarz-weiß. Es besteht aus maximal 256 Graustufen (0 = Schwarz, 255 = Weiß). Unser Auge kann nur 64 Graustufen auseinanderhalten.

### Die Farbwiedergabe

Wie kommt die Farbe in das Bild? Einfache Farbvideokameras haben nur einen einzigen Sensor mit einem Mosaikfilter oder einem rotierenden Farbfilter und schaffen bis zu acht

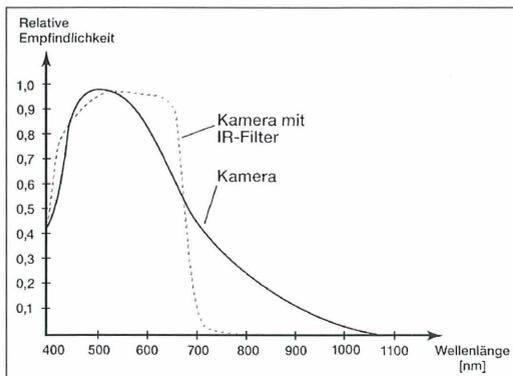


Abb. 2: Relative spektrale Empfindlichkeit einer Videokamera ohne und mit Infrarot-Sperrfilter (steile Absorptionskante in Richtung längerer Lichtwellen).

Farbbilder pro Sekunde. Das ist für unbewegte mikroskopische Objekte, zum Beispiel gefärbte Schnitte, ausreichend. Für die Wiedergabe eines optimalen farbigen Standbildes von bewegten Objekten sind jedoch die simultan Rot, Grün und Blau (R, G, B) aufzeichnenden Kameras vorzuziehen. Diese haben drei CCD-Sensoren mit vorgeschaltetem Farbfilter, das nur rote, grüne oder blaue Lichtanteile auf die Pixel fallen lässt. Aus diesen drei Grundfarben werden dann die Originalfarben rekonstruiert. Enthält die Kamera drei Sensoren mit je circa 250 Helligkeitsstufen, so benötigt man  $3 \times 8 \text{ Bit} = 24 \text{ Bit}$  Digitalsignale für die Übertragung von Farbinformationen. Man kann das bis maximal  $3 \times 16 \text{ Bit} = 48 \text{ Bit}$  steigern, wenn höchstwertige Sensoren verwendet werden.

Das Farbfilter eines *Interline Transfer* CCDs kann aus folgenden Einzelfiltern bestehen: Gelb (durchlässig für Grün/Rot), Cyan (durchlässig für Rot/Blau), Grün und Magenta (durchlässig für Rot/Blau). Acht dieser Filterelemente bilden einen Block, der sich in horizontaler und vertikaler Richtung wiederholt (Abb. 3). Unter den farbig abgedeckten CCD-Elementen bilden sich somit Ladungspakete, die dem durchgelassenen Farbanteil entsprechen. Sie können gemischt, addiert oder subtrahiert werden.

Die Farbtiefe gibt die Anzahl der darstellbaren Farbtöne an. Je höher ihr Wert ist, umso natürlicher erscheinen die Farben eines Bildes. Die Farbtiefe wird in Bit angegeben. Ein Bit entspricht zwei Farben (Schwarz und Weiß). Mit acht Bit sind bereits 256 Farben darstellbar. Eine fotorealistische Farbwiedergabe ist erst ab 24 Bit möglich. Damit lassen sich rund 16,7 Millionen Farbtöne darstellen.

### Video-Standards und Normen

Das von den Pixeln aufgenommene Bild wird an die Kamera-Elektronik weitergeleitet, die es in ein standardisiertes Signal umformt. Die weltweit gebräuchlichen Fernsehsysteme unterscheiden sich voneinander durch ihre technischen Spezifikationen. Sie sind in Normen zusammengefasst, in denen es weitere Unterschiede gibt, die man in Standards unterteilt: In Deutschland und zahlreichen anderen Ländern wird für SW-Kameras der 1950 von CCIR (= *Comitee Consultativ International des Radio-communications*) empfohlene 625 Zeilenstandard benutzt (= CCIR-Norm). Das NTSC-Sys-

tem, abgeleitet von *National Television System Comitee*, ist die Mutter aller Farbfernsehsysteme und wurde 1954 eingeführt. Es verwendet die Amplitudenmodulation, hat aber einige Nachteile. Das SECAM-System (= *Sequentielle Couleur A Memoire* = Farbfolge mit Speicherung) wurde von Henri de France entwickelt und arbeitet mit der störungsunempfindlichen Frequenzmodulation für den Farbträger. Das deutsche PAL-System (*Phase Alternation Line* = zeilenfrequenter Phasenwechsel) wurde 1961 von Walter Bruch vorgestellt. Es arbeitet wie das NTSC-System mit der Amplitudenmodulation, kompensiert aber dessen Nachteile. In Europa überwiegt die CCIR-Norm für Schwarzweiß-Kameras und PAL für Farbkameras. Für das Fernsehen in Frankreich, Griechenland und in einigen anderen Ländern gilt für die Farbübertragung die SECAM-Norm, die sich allerdings bei Industrie-Kameras nicht durchsetzen konnte. In den USA und in Japan gelten die Normen EIA für schwarzweiß und NTSC für Farbe.

*Zur Geschichte:* Die ältesten Fernsehnormen sind EIA und NTSC, beide in den USA entwickelt. Das CCIR-System wurde aus dem EIA-System entwickelt, um die in Europa übliche Netzfrequenz von 50 Hz nutzen zu können. Bei der Entwicklung des PAL-Systems aus den älteren Systemen NTSC und SECAM nutzte man die Möglichkeit, die Schwachstellen dieser Normen zu minimieren. Die Ausrichtung von Industrie-Kameras, die ja auch bei der Mikrovideografie eingesetzt werden, (nach den gel-

tenden Fernsehnormen) hat den Vorteil, dass die bereits vorhandenen Entwicklungen genutzt werden können. Der technische Unterschied zwischen Geräten der NTSC- und PAL-Technik ist ohnehin gering. Das SECAM-System beruht auf der Grundlage des CCIR-Systems (schwarzweiß). Dadurch ist die Umwandlung des PAL-Signals in ein SECAM-Signal mit relativ geringem Aufwand möglich.

### Nachteile der Normen

Kameras, die nach den genannten Normen arbeiten, unterliegen den durch diese Normen gesetzten Begrenzungen. Beispielsweise ist die maximale Zahl der Bilder für Hochgeschwindigkeitsaufnahmen nicht ausreichend. Die maximale Auflösung ist zwar hoch, aber ebenfalls begrenzt. Für solche speziellen Aufgaben können zwar CCD-Kameras eingesetzt werden, doch werden dann die CCD-Sensoren nach den speziellen Anforderungen angesteuert und nicht nach den auf die Fernsehübertragung ausgelegten Normen.

### Vorteile der CCD-Kameras

In der Mikroskopie und Medizin-Technik werden heute nur noch CCD-Kameras eingesetzt, weil sie eine ganze Reihe von Vorteilen haben. Hierzu gehören die Robustheit, die an das Objekt angepasste spektrale Empfindlichkeit, die kleine Bauweise und nicht zuletzt der günstige Preis.

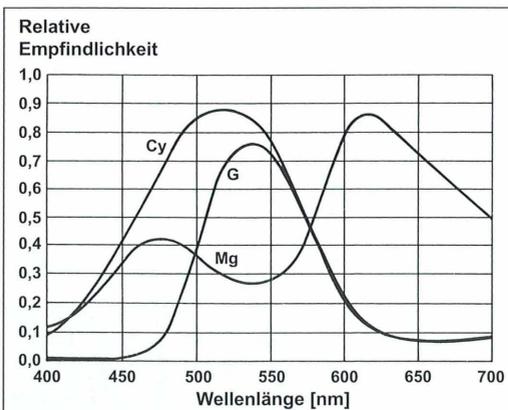


Abb. 3: Spektrale Transmission der Farbfilter vor dem CCD-Sensor. Cy = Cyan, G = Grün/Gelb, Mg = Magenta.

### Analog und Digital

Analog heißt entsprechend. Analoge Signale können bei der Bildübertragung theoretisch jeden beliebigen Wert annehmen. Die Form der aufgezeichneten Signale entspricht dabei genau der der Ursprungsdaten. Der Nachteil: Das Empfangsgerät kann nicht erkennen, ob das Signal gestört wurde und gibt möglicherweise einen falschen Wert wieder.

Digitale Informationen werden in Zahlenreihen von Null- und Eins-Werten gespeichert. Sie können ohne Qualitätsverlust übertragen und kopiert werden. Wenn sie auf dem Übertragungsweg geringfügig gestört werden, kann das Empfangsgerät sie rechnerisch korrigieren. Das

ist der Grund für die hervorragende Bild- und Tonqualität digitaler Aufnahmen und Kopien. Viele Videokameras liefern nur analoge Signale, andere digitale oder sogar analoge und digitale Signale. Die digitalen Kameras können direkt mit dem Computer zusammenarbeiten. Für Kameras, die nur analoge Signale liefern, gibt es den *USB-Capture-Adapter*. Das ist eine Elektronik, die zwischen Kamera und Computer geschaltet und direkt am USB-Eingang des Computers angeschlossen werden kann.

### **VHS und S-VHS**

VHS (= *Video Home System*) ist ein 1975 eingeführtes Videosystem. Im so genannten VHS-Video-Signal sind Informationen über die Helligkeit und Farbe des Bildes enthalten. Über einen S-Video-Anschluss werden Farb- und Helligkeitsinformationen eines Bildes getrennt übertragen, so dass sie sich nicht gegenseitig stören. Dadurch ist die Bildqualität besser als beim herkömmlichen Videosignal. Diese Verbesserung wird nur wirksam, wenn man das Bild mit einem S-VHS-Recorder aufzeichnet. Im Vergleich hiermit überträgt das RGB-Signal die Bildinformationen getrennt für die Farben Rot, Grün und Blau. Die Bildqualität ist noch besser als beim S-VHS-Signal. Es gibt noch ein weiteres Bildübertragungssignal, das dem RGB-Signal ähnlich ist und an Videoprojektoren eine bessere Bildqualität erzeugen soll. Es wird als YUV bezeichnet. Hier sind drei Kabel notwendig, die die Helligkeit (Y) und die Farbanteile (U und V) übertragen.

### **Wissenswertes über Fernsehgeräte und Monitore**

Heute stehen uns zwei Grundtypen von Monitoren zur Verfügung. Der eine arbeitet mit der klassischen Bildröhre und hat deren Nachteile wie Strahlung und elektrische Aufladung. Der andere, der Flachbildschirm, arbeitet mit Flüssigkristallen. Es handelt sich also um eine Flüssigkristallanzeige (LCD = *Liquid Cristal Display*). Diese Bildschirmtechnik wird auch als TFT (= *Thin Film Transistor*) bezeichnet.

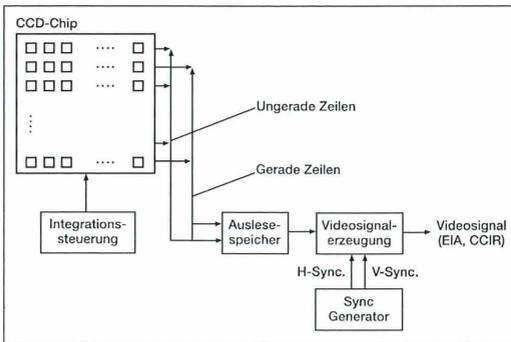
Die Größe des Bildschirms wird immer noch in Zoll angegeben (1 Zoll = 2,54 Zentimeter). Eine Bildschirmdiagonale von 15 Zoll bedeutet also etwa 38 Zentimeter.

Das Bild auf dem Monitor besteht aus Bildpunkten (Pixeln). Die Bildpunkteanzahl wird als Zahlenpaar für die waagerechte und die senkrechte Richtung angegeben. Für ein gutes Bild sorgen 1024 × 768 Punkte. Im Zusammenhang mit Scannern und Bildschirmen wird auch oft die Bezeichnung *Dpi* verwendet. Diese Abkürzung bedeutet *dots per inch* (= Punkte pro Zoll).

Die Bildwiederholffrequenz gibt an, wie oft das Bild pro Sekunde auf dem Monitor aufgebaut wird. Sie wird in Hertz gemessen. 1 Hertz ist ein Ereignis (Schwingung) pro Sekunde. Die Bildwiederholffrequenz ist also die Bezeichnung für die Häufigkeit (= Frequenz), mit der Fernsehbilder beziehungsweise Computerbilder aufgebaut werden. Normale Fernsehgeräte arbeiten mit 50 Hertz und stellen 50 Halbbilder pro Sekunde dar. Das Auge kann bei Standbildern noch ein Flimmern erkennen. Ab einer Wiederholffrequenz von 85 Hertz ist der Bildwechsel so schnell, dass ihn das Auge kaum noch als Flimmern wahrnimmt. Es gibt heute 100-Hertz-Fernsehgeräte, die praktisch nicht mehr flimmern, aber oft Probleme mit schnellen Bewegungen haben, wie sie bei mikroskopischen Objekten vorkommen können.

### **Halbbilder, Vollbilder und Progressive Scan**

Farbfernsehgeräte arbeiten seit über 30 Jahren mit der gleichen Technik. Die Fernsehbilder werden als so genannte Halbbilder gesendet und auf dem Bildschirm dargestellt. Beim ersten Halbbild werden die ungeraden Zeilen des Bildes gesendet. Beim zweiten Halbbild folgen die geraden Zeilen. Das träge menschliche Auge kann die einzelnen Halbbilder nicht wahrnehmen. Es fügt sie zu Vollbildern zusammen. Die Halbbilder werden mit einer Bildwiederholffrequenz von 50 Hertz gesendet. Es entstehen also 25 Vollbilder pro Sekunde. Man nennt diese Halbbildtechnik auch Zeilensprungverfahren, weil die einzelnen Zeilen des Bildes versetzt gesendet werden (engl. *interlaced*). Durch die geringe Frequenz flimmert das Bild bei Standbildern und hellen Flächen. Je größer der Bildschirm ist, um so stärker wird das Flimmern wahrgenommen. Deshalb stellt man neben den 50-Hertz-Geräten auch solche mit einer Bildwiederholffrequenz von 100 Hertz her, bei denen das Bild weniger flimmert. Billige 100-Hertz-Fernsehgeräte stellen dabei einfach



**Abb. 4:** Ein analoges eindimensionales Zeitsignal enthält Impulse für die vertikale (V-Sync) und horizontale (H-Sync) Bildsynchronisation. Es wird ein Videosignal aus zwei Halbbildern (gerade und ungerade Zeilen) generiert (nach POLYTEC).

jedes Halbbild zweimal auf dem Bildschirm dar. Bei schnellen Bewegungen ruckelt das Bild. Waagerechte Laufschriften werden ausgefranst dargestellt. Teure Fernsehgeräte besitzen eine aufwändige Elektronik, die die zusätzlich dargestellten Halbbilder aus den gesendeten Bildern berechnet. Schnelle Bewegungen und Kameraschwenks erscheinen flüssig auf dem Bildschirm (siehe hierzu Abb. 4).

Moderne Computer-Bildschirme und Projektoren stellen grundsätzlich Vollbilder dar. Die Vollbilder müssen bei der Darstellung auf dem Computer-Monitor nicht zerlegt werden. Die Bildqualität wird nicht verschlechtert. Diese Technik wird *Progressive Scan* genannt. Damit das Bild nicht flimmert, werden die einzelnen Vollbilder mehrfach dargestellt. Die Vollbildtechnik ist besonders bei Spielfilmen auf DVD von Vorteil, weil auf den meisten DVDs Vollbilder gespeichert sind (bei europäischen 25, bei amerikanischen 30 pro Sekunde). Die Vollbilder müssen bei der Darstellung auf dem Computer-Bildschirm oder mit dem Videoprojektor nicht in Halbbilder zerlegt werden. Mit einem *De-Interlacer* kann man das Bildsignal eines Videorecorders oder Satelliten-Fernsehempfängers vom herkömmlichen Halbbildformat in ein *Progressive-Scan-Signal* umwandeln.

### Die CCD-Kamera am Mikroskop

Es gibt vier Möglichkeiten, eine CCD-Kamera (ohne Objektiv) an das Mikroskop zu adaptie-

ren. Die mechanischen Voraussetzungen wurden schon oft beschrieben und sollen hier nicht behandelt werden. Meistens ordnet man den Sensor in der Ebene des reellen Zwischenbildes an. Anstatt eines Okulars empfängt der CCD-Chip das reelle Zwischenbild. Es wird vergrößert auf dem Monitor dargestellt. Wieviel Fläche des reellen Zwischenbildes der Sensor auf den Monitor überträgt, ist von seiner Größe abhängig. Ein 1/3-Zoll-Sensor erfasst einen kleineren Ausschnitt aus dem Zwischenbild als ein 2/3-Zoll- oder gar ein 1-Zoll-Sensor. Die gesamte im Zwischenbild enthaltene Bildinformation vermögen nur hochwertige Sensoren, die genügend kleine und zahlreiche Pixel haben (z.B. 2048 × 2048) aufzunehmen und aufzulösen.

Die zweite Möglichkeit besteht darin, durch ein optisches System, zum Beispiel eine achromatische Linse, das reelle Zwischenbild auf dem Sensor verkleinert zu projizieren. Es wird mehr Fläche aus dem Präparat beziehungsweise dem reellen Zwischenbild vom CCD-Sensor auf den Monitor übertragen. Das ist bei manchen Untersuchungen wünschenswert. Man muss jedoch bedenken, dass hierbei verkleinerte Strukturen auf den sonst unveränderten Chip projiziert werden. Die tatsächliche Auflösung des Bildes wird verschlechtert.

Als dritte Möglichkeit kommt in Betracht, den CCD-Sensor in dem vom Projektiv oder Foto-okular entworfenen Bild anzuordnen, also etwa dort, wo sich bei der Mikrofotografie die Filmebene der Kamera befindet. Das Resultat ist ein sehr stark vergrößertes Bild auf dem Monitor mit sehr hoher Auflösung. Aus dem Präparat beziehungsweise aus dem reellen Zwischenbild wird jedoch nur ein kleiner Ausschnitt abgebildet.

Bei der vierten Möglichkeit ordnet man über dem Okular in dessen Austrittspupille ein kleines achromatisches Objektiv an. Das Ergebnis ist ein Adapter, der ein Foto-Okular und in dessen Austrittspupille kurz unterhalb des C-Mount-Außengewindes ein achromatisches Objektiv besitzt. Er wird am Fototubus befestigt. Aus dem Sehfeld des Okulars (Sehfeldzahl 18) werden etwa 60% Fläche auf den Monitor übertragen, wobei man es so einrichten kann, dass auch ein Okularmikrometerplättchen auf dem Monitor mit abgebildet wird, wenn das sinnvoll erscheint.

Bei Camcordern und digitalen Fotokameras, deren Objektiv nicht abnehmbar ist, muss man

einen anderen Weg gehen. Man fügt zwischen Okular und Kamera-Objektiv einen Adapter ein, durch den die Austrittspupille des Okulars und die Eintrittspupille des Kamera-Objektivs zusammenfallen. Da sich die Eintrittspupille des Kamera-Objektivs in der Ebene von dessen Irisblende befindet, eignen sich hierfür nur Okulare mit hoch liegender Austrittspupille, zum Beispiel Brillenträgerokulare mit einer AP von 15,5 bis 24 mm.

### Erklärung einiger Abkürzungen

CMOS steht für *Complementary Metal Oxide Semiconductor*, in deutsch etwa „sich ergänzende Metalloxid-Halbleiter“. Die meisten Speicherbausteine werden in CMOS-Technik hergestellt. Sie brauchen wenig Strom. Eine kleine Batterie genügt, um die gespeicherten Daten zu erhalten.

Abkürzungen in Verbindung mit Camcordern, die nur gelegentlich für die Mikrovideografie verwendet werden:

Video8/Hi8/Digital8: Video8 und Hi8 sind Standards für analoge Camcorder. Das neuere System Digital8 verwendet Hi8-Kassetten. Es erreicht damit eine viel bessere Bildqualität. Die Bandkosten für eine Stunde liegen bei etwa 4 €.

Mini-DV: Viele digitale Camcorder speichern Bild und Ton im Format Mini-DV (Digital-Video). Die Kassetten sind kleiner und leichter als VHS-Kassetten. Das Bild ist etwas schlechter. Bandkosten für eine Stunde Film bei bester Bildqualität liegen bei etwa 4 €.

Micro MV (MPEG-Video) ist ein digitales Videokassetten-System, das Filme platzsparend abspeichert. Die Kassetten sind um 70% klei-

ner als Mini-DV-Kassetten. Das Bild ist etwas schlechter. Eine Kassette, die eine Stunde Film aufnimmt, kostet etwa 16 €.

Mini-DVD: Die Camcorder von Hitachis neuer DZ-WV-Produktreihe speichern Videos auf einmal beschreibbare Mini-DVDs. Kosten für eine Stunde Film etwa 12 €.

DVD = *Digital Versatile Disc*, auf Deutsch „vielseitige digitale Scheibe“, ist eine silberfarbene Scheibe, auf der Computerdaten oder Videofilme gespeichert sind. Bild- und Tonqualität sind viel besser als die von Videokassetten. Video-CD ist ein Verfahren zum Speichern von Filmen auf CD. Die Scheiben lassen sich mit einem CD-Laufwerk und einem Abspielprogramm am PC sowie mit einigen DVD-Spielern wiedergeben.

Informationen: Computer-Bild, Springer Verlag Hamburg.

### Literaturhinweise

Adelmann, H.: Vom Objekt zu Pixel, vom Pixel zu Bild-Kenngrößen der digitalen Bildübertragung. Arbeitsmappe der 8. Internationalen Mikroskopie-Tage in Hagen, November 2000.

Bahr, H.: Alles über Video. Hüthig Buch Verlag, Heidelberg 1991.

Göke, G.: Videomikroskopie. Mikrokosmos 80, 174–181 (1991).

Göke, G.: Neue optische Adapter für Video-Mikrografie. Mikrokosmos 88, 23–26 (1999).

Göke, G.: Mikroskop und Kamera. Mikrofotografie und Videomikroskopie. 3. Auflage. Selbstverlag, Hagen 2001.

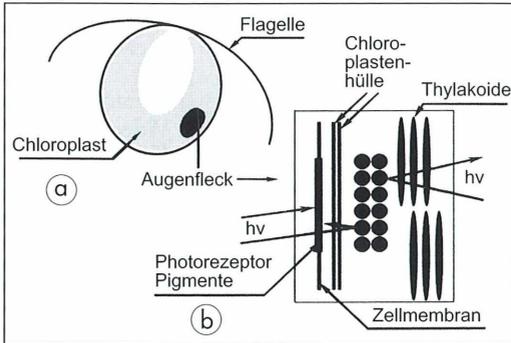
Verfasser: Gerhard Göke, Am Widey 7, D-58095 Hagen

## Kurze Mitteilung

### Ein neuer Photorezeptor bei Algen

In biologischen Systemen hat das Licht zwei Funktionen: 1. dient es der Umsetzung von Lichtenergie in chemische Energie, ein Prozess, den wir Photosynthese nennen. 2. dient das Licht als Signal (Abb. 1). Bei tierischen Organismen erfolgt die Aufnahme der Lichtsignale beispielsweise durch die Retina-Pigmente, die in Chromophoren lokalisiert sind. Das Pig-

ment Retinal ist ein Aldehyd des Vitamin A (es war das erste Beispiel für den Bedarf des Menschen für Vitamin A). Pflanzen verfügen über mehrere Pigmentsysteme. Außer den für die Photosynthese benötigten Chlorophyllen gibt es spezielle Pigmente für die Photomorphogenese, den Photoperiodismus und die durch Licht induzierten, gerichteten Bewegungen



**Abb. 1:** a. Grob-schematische Darstellung der einzelligen Grünalge *Chlamydomonas* mit den beiden Flagellen, dem becherförmigen Chloroplasten und dem roten Augenfleck. Die Zelle hat einen Durchmesser von ca. 10  $\mu\text{m}$ , der Augenfleck eine Größe von ca. 1  $\mu\text{m}$ , die Flagellen sind ca. 10  $\mu\text{m}$  lang. b. Schematischer Querschnitt durch die verschiedenen Membransysteme des Augenflecks. Das Photorezeptor-Pigment ist wahrscheinlich in der äußeren Plasmamembran der Zelle lokalisiert. Wenn die Zelle mit der Hilfe der Flagellen schwimmt, dann rotiert sie um ihre eigene Achse und bewegt sich vorwärts. Der Satz dunkler Punkte in der Mitte des Augenflecks schirmt das Photorezeptor-Pigment in einer Richtung (nach rechts) gegen das einfallende Licht ab, sodass die schwimmende, rotierende *Chlamydomonas*-Zelle kontinuierlich das Licht aus einer Richtung (von links) auffängt. Der Strahlengang des Lichtes wird durch die Pfeile und hv angedeutet (aus Ebrey, 2002).

(Phototropismus bei festsitzenden Pflanzen, Phototaxis bei frei beweglichen Organismen). So hat man bei der Modellpflanze *Arabidopsis* mindestens drei verschiedene Typen von Photorezeptor-Pigmenten gefunden: Zwei Cryptochrome, fünf Phytochrome und zwei Phototropine. Keines dieser Photorezeptorpigmente besitzt Retinal in seinen Chromophoren. Nun ist es in Experimenten gelungen, bei *Chlamydomonas* die Carotinoid- und Retinal-Synthese zu unterdrücken mit dem Erfolg, dass

die Phototaxis verschwand. Durch Zufügen von freiem Retinal konnte die Phototaxis bei den *Chlamydomonas*-Zellen wiederhergestellt werden. Seit 30 Jahren ist bekannt, dass in einigen halophilen Archaeobakterien (Halobacteriales) mit Hilfe von Bakteriorhodopsin (Retinal), einem dem Sehfärbstoff Rhodopsin ähnelnden Chromoprotein, Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt werden kann. Man schätzt, dass mehr als 10% der totalen photosynthetischen Energieumwandlung auf der Erde auf der Basis von Retinal stattfindet. Es ist nun gelungen Bruchstücke von Genen der Grünalge *Chlamydomonas* zu finden, deren Expressionsprodukte große Ähnlichkeit mit den Rhodopsin-Pigmenten der Archaeobakterien haben. So bestand die Aussicht, dass man in Algen einen Signal-Transduktions-Apparat finden könnte, der auf Retinal basiert. Durch Unterdrückung der Synthese der Pigmente mit Hilfe der RNA-Interferenz-Technologie konnte gezeigt werden, dass diese Pigmente echte Photorezeptoren sind und die Kontrolle über ein Segment der phototaktischen Reaktion der Algenzelle ausüben. Die an Proteine gekoppelten Rezeptoren absorbieren Lichtenergie und initiieren Lichtströme; sie sind daher als die Photorezeptoren für die Phototaxis zu betrachten.

Es bleiben natürlich noch zahlreiche Fragen offen. So ist der Weg für die Signale noch unbekannt. Die Phototaxis in den Halobakterien, die auf der Verwendung von Retinal-Pigmenten beruht, ist sehr ähnlich dem Signalweg bei der eubakteriellen Chemotaxis. Wie der Weg zur Kontrolle der Flagellenbewegung verläuft, bleibt unklar. Die auf Retinal basierende Photorezeption bei Algen könnte ein ganz neues System der Signalübertragung darstellen.

#### Literaturhinweise

- Sineshchekov, O. A., Jung, K. H., Spudich J. L.: Two rhodopsins mediate phototaxis to low and high-intensity light in *Chlamydomonas reinhardtii*. Proc. Nat. Acad. Sci. USA 99, 8689–8694 (2002).  
 Ebrey, T. G.: A new type of photoreceptor in algae. Proc. Nat. Acad. Sci. USA 99, 8463–8464 (2002).

H. F. Linskens, Nijmegen

## *Euglena mutabilis* – Ein an ungünstige Umweltbedingungen ideal angepasster Protist

Wolfgang Jacob

Anfang Mai 1994 führte mich eine Wanderung an den schmalen Sandstrand eines Tagebaurestsees (Restsee Bluno, Lausitz). Das Wasser war kristallklar, leicht rötlich schimmernd, wie oft bei solchen Seen, schien aber steril. Dagegen färbte sich das die Fußabdrücke füllende Wasser deutlich grün. Ein Nachgraben im von der Sonne leicht erwärmten Sand erwies eine grünliche Besiedlung bis in wenigstens 10 cm Tiefe. Anstatt der erwarteten kokkalen Algen zeigte das Mikroskop 60–80 oder manchmal sogar 100 µm lange, grüne, wurmförmige Wesen mit einem roten Stigma. Es war die erste Begegnung mit einem wichtigen Bewohner von schwefelsauren Bergbaurestseen – nämlich mit *Euglena mutabilis*.

**E**rst im Laufe jahrelanger Beobachtungen unter Einbeziehung ähnlicher Biotope zeigte sich, welch ein an ungünstige Umweltverhältnisse fast ideal angepasster Organismus hier vorliegt.

Abbildung 1 gibt zeichnerisch den Körperbau von *Euglena mutabilis* wieder, wie er im Lichtmikroskop erkennbar ist. Der Körper ist im gestreckten Zustand zylinderförmig. Das Vorderende ist stumpf abgerundet, besitzt ein manchmal auffälliges rotes Stigma und ist chloroplastenfrei. Hinten läuft der Körper spitz zu. Es werden meist vier rinnen- bis hohlzylinderförmige, geränderte Chloroplasten gefunden. Der zentrale Kernbereich ist in der Regel chloroplas-

tenfrei. Eine Geißel wurde in keinem Fall gefunden, die Ampulle im Vorderteil ist schlecht sichtbar und verschieden ausgebildet. Abbildung 2 zeigt *E. mutabilis* im gestreckten Zustand. Die gemessenen Längen von 60–80 µm und 6–10 µm im Durchmesser korrelieren im Wesentlichen mit den Literaturangaben bei Ettl (1968) und Huber-Pestalozzi (1955). Nur Brake und Mitarbeiter (2001) beschreiben deutlich größere Exemplare mit bis zu 125 µm Länge. Paramylon-Körper (kurze Zylinder) wurden bei Freilandexemplaren kaum beobachtet, sie waren dagegen bei einem zum Vergleich herangezogenen Zuchtexemplar häufig (Abb. 4).

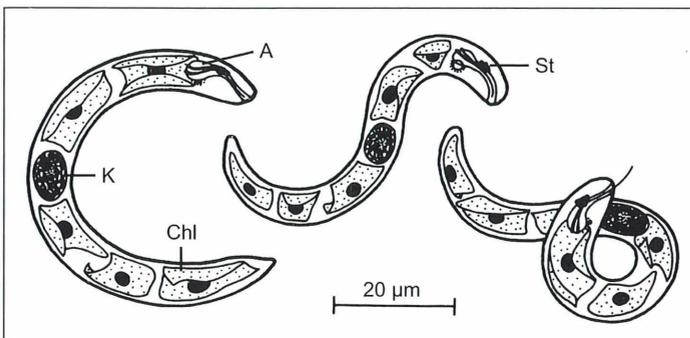


Abb. 1: Zeichnungen von *Euglena mutabilis* im Lichtmikroskop. A = Ampulle, St = Stigma, Chl = Chloroplast, K = Kern (aus: Leedale, 1967).

### *Euglena mutabilis* in Bewegung

*Euglena mutabilis* ist im Allgemeinen äußerst agil, dabei bilden sich eine Reihe von Bewegungsmustern aus (Abb. 3–5, 14). Sie kann den Körper stark zusammenziehen, konvulsive Ver-

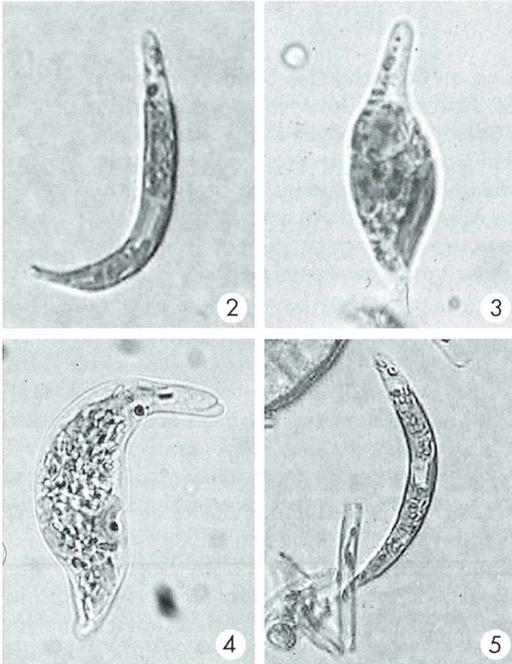


Abb. 2: *E. mutabilis* in fast gestrecktem Zustand. Vergr.: 1000fach. – Abb. 3: *E. mutabilis* leicht kontrahiert. Vergr.: 600fach. – Abb. 4: Zuchtexemplar (Stamm SAG 1224-9a). Die besseren Ernährungsbedingungen führten zur Ausbildung zahlreicher Paramylonkörper. Vergr.: 1000fach. – Abb. 5: Bewegung im gestreckten Zustand; der Hinterbereich ist an einem Substrat fixiert. Vergr.: 1000fach.



Abb. 6: Bewegungsablauf. Vergr.: 1000fach.

dickungen bilden, oder auch das Vorderteil rüsselförmig vorstrecken (Abb. 6). Dabei ist auch das Stigma im Körper recht beweglich. Eine gestreckte Bewegung, sehr oft mit einem Substratgegengewicht am Hinterende ist auch möglich, hierbei kann *Euglena* Objekte wie zum Beispiel *Arcella*-Gehäuse zielstrebig ansteuern (Abb. 5). Diese Bewegungslust erlaubt reizvolle Videosequenzen herzustellen, bereitet aber dem Fotografen Probleme. Es ist meistens kaum möglich, alle Körperpartien in der Schärfefzone zu halten. Eine Ruhigstellung durch Chemikalien gelingt kaum. Entweder sind sie wirkungslos, oder sie führen zu einer Kontraktion (Formalin). Eingermaßen erfolgreich ist ein schockartiges Einfrieren auf  $-18^{\circ}\text{C}$  und nachfolgendem Fotografieren in oder gegen Ende der Starrephase.

### Vermehrung von *E. mutabilis*

Euglenen vermehren sich normalerweise durch Längsteilung oder Teilung im Palmellastadium innerhalb eines Gallertlagers. Bei *E. mutabilis* scheint die Längsteilung recht selten zu sein. Dies bestätigen auch andere Beobachter (Kapfer, 1998). Bei den vielen Exemplaren, die ich im Laufe der Jahre beobachten konnte, sah ich lediglich 1994 ein Doppalexemplar, welches an den hinteren Spitzen zusammenhing. Ettl stellte deshalb noch 1968 fest, dass zur Fortpflanzung dieser Euglenenart nichts bekannt sei. Es gelang mir aber in Ruhestadien aus Freiland und Zucht Teilungsprozesse zu dokumentieren (Abb. 7–9). Die Fortpflanzung verläuft wohl meist bei diesen Ruheformen.

Die Ruheformen waren oval ( $23 \times 27 \mu\text{m}$ ) und besaßen oft einen spitzen Fortsatz (Abb. 10). Palmellen mit Gallertlager wurden dagegen nicht beobachtet.

### Fundorte

*E. mutabilis* wurde von mir im flachen Ufersand, wie oben beschrieben, bis zu einer Tiefe von mindestens 10 cm gefunden, aber auch als grüner dünner Aufwuchs auf Sand- und Ockerflächen im Flachwasser beobachtet, wobei aber keine Mattenbildung erfolgte. Kapfer (1998) konnte dagegen in einigen Seebereichen (Koschen, Restsee 108, Lausitz) zeitlich und räumlich stark veränderliche Matten sowie ein Vorkommen in tieferen Wasserschichten feststellen. Im aufsteigenden Grundwasser (Ilsesee)

war *Euglena mutabilis* auch als grüner Schaum zu beobachten.

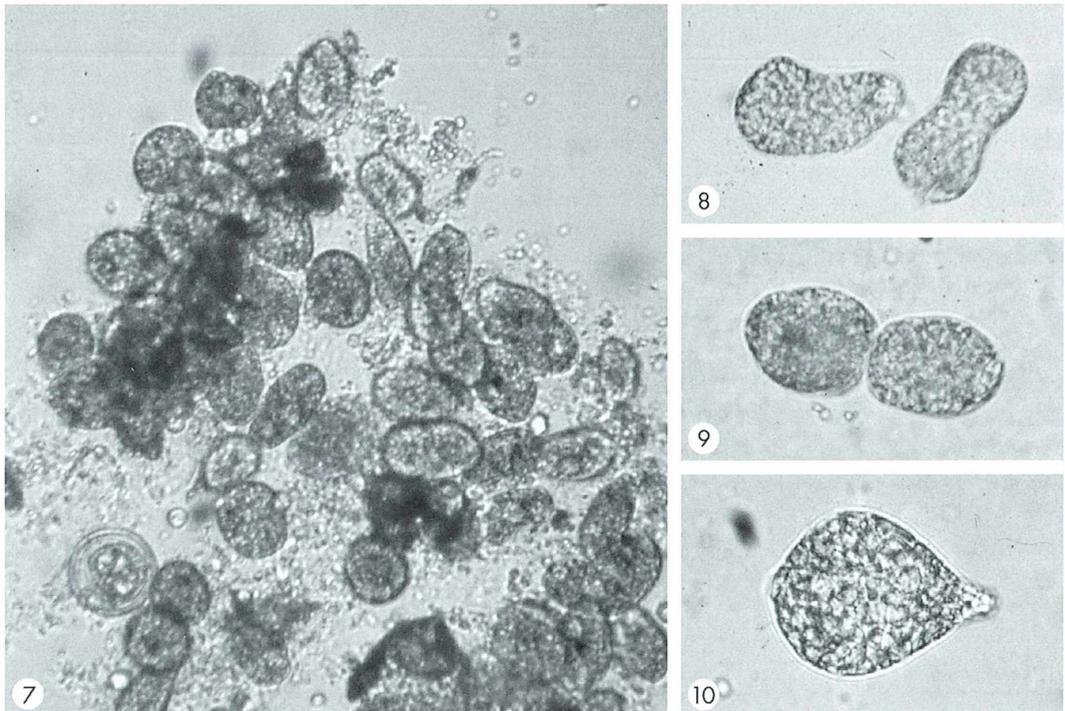
Insgesamt konnte *E. mutabilis* von mir in folgenden Restseen der Lausitz beobachtet werden: Bluno, Grünewalder Lauch, Koschen, Qualisch, Sedlitz und im aufsteigenden Grundwasser des zukünftigen Ilsees. Ergiebigste Fundorte waren Bluno und der Ilsesee.

Eine viel größere Üppigkeit erreichte der Bewuchs von *E. mutabilis* in Abflussgräben aus Kohleabraumhalden im US-Staat Indiana. Dazu folgen unten weitere Ausführungen.

### **Ernährungsweise**

Euglenen sind zur Photosynthese fähig, prinzipiell auch zu einer saprophytischen oder phagozytischen Lebensweise. Bei grünen Euglenen ist aber eine phagozytische Ernährung, speziell eine Aufnahme von Nahrungsteilchen durch die Ampulle, nicht beobachtet worden (Fott, 1959). Die im Wasser von sauren Restseen sehr geringe Menge an verfügbarem Kohlenstoff (bis <math>0,5</math>

mg/l; Nixdorf und Kapfer, 1998) reicht für die Entwicklung der beobachteten Exemplarzahlen sicher nicht aus. Mindestens eine zusätzliche Nahrungsquelle muss vorhanden sein. Eine plausible Erklärung wäre die Aufnahme von löslichen Komponenten aus fast immer vorhandenen Flözresten oder Kohlegrus. Die häufig auf Kohleteilchen anzutreffenden Euglenen stützen eigentlich diese Annahme (Abb. 14). Olaveson und Stokes (1989) konnten aber beweisen, dass organische Substrate keine Wachstumsbeschleunigung bewirkten, wohl aber jede Art der  $\text{CO}_2$ -Anreicherung. Dies erklärt das Auftreten dieser *Euglena*-Art an allen Stellen des Sees, wo irgendwie eine  $\text{CO}_2$ -Anreicherung stattfindet, beispielsweise wo  $\text{CO}_2$ -reiches Grundwasser zuströmt, wo Zersetzungsvorgänge stattfinden und an manchen Sedimentgrenzen im Tiefenbereich. Dabei wird manchmal auch ein geringerer Lichteinfall toleriert. Abgestorbene Teile jeder Art werden von Euglenen besiedelt, das können zum Beispiel Zellskelette von vorjährigen Schilfstängeln oder Chitinpanzer abgestorbener Chydoriden sein. Besonders interessant sind die



**Abb. 7:** Kolonie im Ruhestadium, einige Zellen befinden sich in Teilung. Vergr.: 600fach. – **Abb. 8 und 9:** Teilungsstadien. Vergr.: 1000fach. – **Abb. 10:** Beginnendes Ruhestadium. Vergr.: 1000fach.

Beobachtungen an der im Uferbereich vorkommenden Schalenamöbe *Arcella discoides*. Leere Gehäuse werden mit bis zu 15 Euglenen besiedelt (Abb. 11 und 12). Andere Beobachtungen zeigten wiederholt, dass sich lebende Arcellen und Euglenen nicht behindern (Abb. 13). Es scheint eine Art Symbiose vorzuliegen. Nach dem bisher Beschriebenen könnte *Euglena* das im Plasma von *Arcella* produzierte CO<sub>2</sub> aufnehmen und im Gegenzug O<sub>2</sub> abgeben oder niedermolekulare Assimilationsprodukte liefern. Es wird offenbar jede CO<sub>2</sub>-Quelle genutzt, um die Überlebensfähigkeit zu sichern.

### Umwelttoleranz

Die große Umwelttoleranz von *E. mutabilis* geht aus dem bisher dargelegten schon recht deutlich hervor. Die folgenden Fakten sollen dies noch erhärten.

In den oben angegebenen Gewässern der Lausitz konnte *E. mutabilis* bei pH-Werten zwischen 2,7 bis 3,1 beobachtet werden. In einer langsam saurer werdenden Rückstellprobe verfielen alle Euglenen bei pH 2,1 in einen zystenähnlichen Ruhezustand. Die Salzkonzentrationen schwankten in diesen Gewässern zwischen 900 und 2.500 mg/l (Beispiel Koschen: 173 mg/l Ca, 26 mg/l Mg, 31 mg/l Na, 16 mg/l Fe, 9 mg/l K, etwa 2,5 mg/l Schwermetalle, 40 mg/l Chlorid sowie 680 mg/l Sulfat).

Euglenen wurden im Temperaturbereich von 3 °C bis etwa 20 °C beobachtet. Optimal erscheinen Temperaturen >15 °C. Der pH-Wert um 3,0 wurde gut toleriert. Beobachtungszeiten waren März bis Oktober. Häufigkeitsmaxima fanden sich in der ersten Maihälfte und ein schwächeres Anfang September.

Dies sind schon harte Umweltbedingungen. Was aber dieser Organismus verkraften kann, beweist er in einem alten Kohlerevier im US-

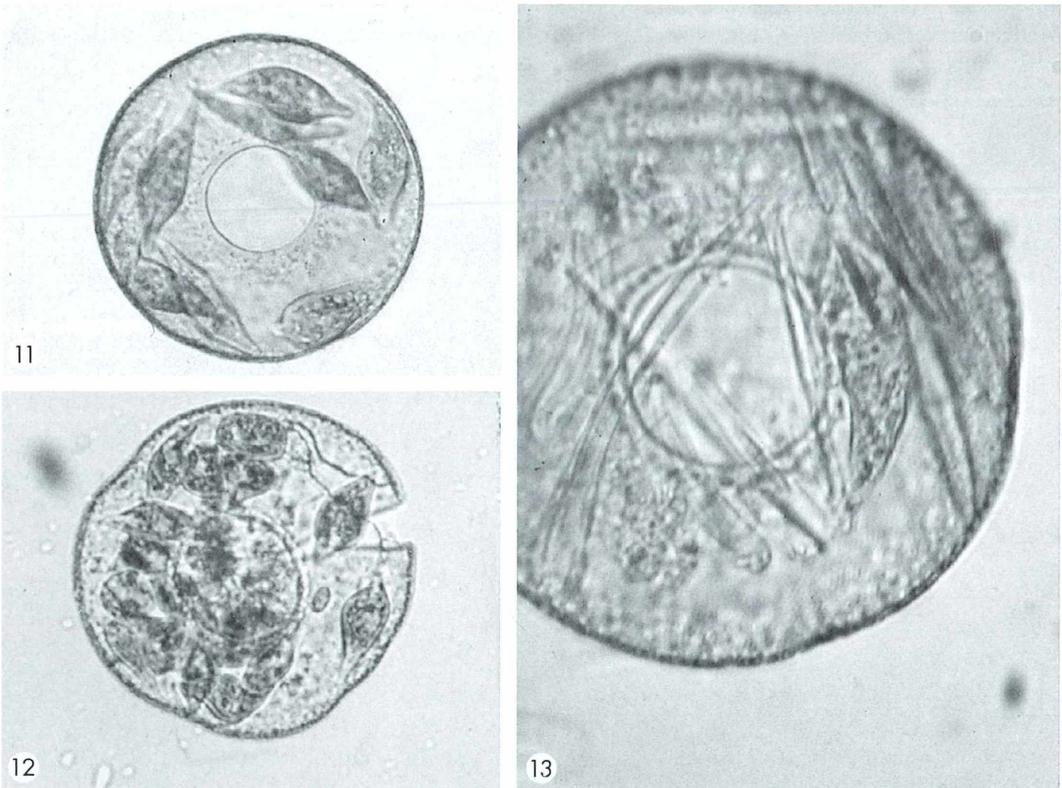


Abb. 11: *Arcella*-Gehäuse mit Euglenen. Vergr.: 600fach. – Abb. 12: *Arcella*-Gehäuserest mit zahlreichen Euglenen. Vergr.: 600fach. – Abb. 13: *Euglena* und *Nitzschia*-Schalen in einer *Arcella*. Vergr.: 1000fach.



**Abb. 14: Euglenen an Braunkohlepartikel. Vergr.: 270fach.**

Staat Indiana. Entwässerungsgräben aus Kohleabraumhalden erreichen Salzlasten bis 22.000 mg/l (darunter Fe bis 12.000 mg/l, Al bis 1.850 mg/l, Chlorid bis 630 mg/l und bis über 7.100 mg/l Sulfat mit hoher Schwankungsbreite) bei pH-Werten von 2,5–4,5 (Brake et al., 2001). Diese Entwässerungsgräben waren mit Kalkstein ausgekleidet, die geringe Wassertiefe und das Fließen erlaubten auch einen Luftzutritt. Die Reaktion des Kalksteins mit einem Teil der Schwefelsäure erbrachte einen  $\text{HCO}_3^-$ -Anteil von  $<5$  mg/l, und es wurden in bestimmten Bereichen der Gräben offenbar immer geringe  $\text{CO}_2$ -Mengen nachgeliefert. Diese an sich geringen Verbesserungen der Lebensbedingungen reichen aber offensichtlich für ein üppiges Wachstum mit bis zu 3 mm dicken Biomatten und Exemplargrößen von 125  $\mu\text{m}$  aus. Die Einzelexemplare scheiden bei diesen hohen Salzkonzentrationen eisenreiche Oxidhydrate in ihren Körpern aus. Größere pH-Schwankungen, zum Beispiel durch Starkregen, führen zu massiven Eisenoxidausscheidungen in den Gräben und zum Teil zum Absterben der Euglenen. Im Endergebnis entstehen geschichtete, eisenhaltige Gebilde, welche den präkambrischen Stromatolithen in hohem Maße ähneln. Es gibt ernsthafte Diskussionen (Brake et al., 2000), die den Cyanophyten zugeschriebene präkambrische Stromatolith-Bildung wenigstens teilweise euglenenähnlichen Organismen zuzuordnen. Gestützt wird diese Ansicht auch durch die Fähigkeit der Euglenen hohe Quantitäten an Sauerstoff bis zur Übersättigung (200 %) freizusetzen. Diese Diskussionen sind aber noch nicht abgeschlossen.

Unter Laborbedingungen gelang es, *E. mutabilis* bei einem pH von 1,3 zu züchten (Nakatsu und Hutchinson, 1988).

### Lohnendes Studienobjekt

Es steht außer Zweifel, dass *E. mutabilis* ein äußerst umwelttoleranter Organismus ist. Seine Fähigkeit zur Metallakkumulation und Abscheidung machen ihn speziell unter ökologischen Gesichtspunkten zu einem lohnenden Studienobjekt.

Auch für die Lausitz mit der Vielzahl an schwefelsauren Restseen könnte *E. mutabilis* an Bedeutung gewinnen. Unter günstigen Bedingungen, das heißt, wenn ausreichend  $\text{CO}_2$  vorhanden wäre, könnte *Euglena* die in diesen Seen dringend benötigten größeren Mengen an Biomasse bilden, welche andere Organismen zur Sulfatreduzierung benötigen. Es kann nützlich sein zu prüfen, ob ein Zusatz von  $\text{CO}_2$ -absplattendenden Substanzen (Kalk) biologische Wirkungen erzielt.

Reizvoll ist bei aller Beschäftigung mit *Euglena mutabilis* auch der Gedanke, dass man möglicherweise einen erdgeschichtlich sehr alten Organismus vor sich hat.

### Danksagung

Der Lausitzer und Mitteldeutschen Bergbauverwaltungs-gesellschaft mbH sei an dieser Stelle als Eigentümerin der genannten Restseen für das vielfache Entgegenkommen gedankt.

Frau Prof. Dr. Sandra Brake, Terre Haute (USA), Herrn Priv. Doz. Dr. Gärtner, Innsbruck, und Frau Maria Kapfer, Berlin, gilt besonderer Dank für beratende Hinweise und Hilfen bei der Literaturbeschaffung.

### Literaturhinweise

Brake, S. S., Dannelly, H. K., Connors, K. A.: Influence of water chemistry on the distribution of an acidophilic protozoan in an acid mine drainage system at

- the abandoned Green Valley coal mine, Indiana, USA. *Applied Geochemistry* 16, 1641–1652 (2001).
- Brake, S. S., Hasiotis, S. T., Dannelly, H. K.: Eukaryotic stromatolite builders in acid mine drainage: Implications for Precambrian iron formations and oxygenation of the atmosphere? *Geology* 7, 599–602 (2000).
- Ettl, H.: Ein Beitrag zur Kenntnis der Algenflora Tirols. *Ber. nat. med. Ver. Innsbruck*, 177–354 (1968).
- Ettl, H., Gärtner, G.: *Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1995.
- Fott, B.: *Algenkunde*. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1959.
- Huber-Pestalozzi, G. (Hrsg.): *Die Binnengewässer*. Bd. 16, 4. Teil Euglenophyceen, Schweizerbart, Stuttgart 1955.
- Kapfer, M.: Assessment of the colonization and primary production of microphytobenthos in the littoral of acidic mining lakes in Lusatia (Germany). *Water, Air and Soil Pollution* 108, 331–340 (1998).
- Lackey, J. B.: Aquatic life in water polluted by acid mine waste. *Public Health Reports* 54, 740–746 (1939).
- Leedale, G. F.: *Euglenoid flagellates*. Concepts of Modern Biology Series. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs 1967.
- Nakatsu, C., Hutchinson, T. C.: Extreme metal and acid tolerance of *Euglena mutabilis* and associated yeast from Smoking Hills, Northwest Territories, and their apparent mutualism. *Microb. Ecol.* 16, 213–231 (1988).
- Nixdorf, B., Kapfer, M.: Stimulation of phototrophic pelagic and benthic metabolism close to sediments in acidic mining lakes. *Water, Air and Soil Pollution* 108, 317–330 (1998).
- Olaveson, M. M., Stokes, P. M.: Responses of acidophilic alga *Euglena mutabilis* (Euglenophyceae) to carbon enrichment at pH 3. *J. Phycol.* 25, 529–539 (1989).
- Verfasser:* Wolfgang Jacob, Rembrandt-Str. 35, D-01983 Großräschen

## Kurze Mitteilung

### Kristalle an der Oberfläche von Flechten

Flechten (Lichenen) sind Verbände von Hyphen bestimmter Pilzarten mit autotrophen Algen (Phycobionten), die sich zu charakteristischen Einheiten verbunden haben, welche morphologische und physiologische Eigenschaften haben, die es rechtfertigen, die Flechten als eigenständige systematische Einheit zu betrachten. Am Beispiel der Flechten schuf de Bary den Begriff der Symbiose. In der stabilen Symbiose der als Flechten zusammenlebenden Pilze (Mycobionten) und Algen (Phycobionten) werden zahlreiche chemische Verbindungen synthetisiert, welche von den isolierten Partnern nicht gebildet werden können. Sie werden daher Flechtenstoffe genannt, die zu verschiedenen Stoffgruppen (aliphatischen Säuren, Chinonen, Depsidonen) gehören. In Japan hat man unter den Flechtenstoffen auch Antibiotika gefunden.

Viele Flechtenarten besitzen an der Oberfläche Strukturen, die Kalzium enthalten. In Israel wurde nun die Flechte *Ramalina lacera* näher untersucht, die auf den Zweigen des Ölbaumes wächst. Diese Flechte reagiert empfindlich auf Luftverunreinigungen. Auch im Experiment mit simuliertem sauren Regen wurden zwei verschiedene Kalzium-Oxalat-Kristalle gefunden: Whewellit (ein monoklines Monohydrat,  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \times \text{H}_2\text{O}$ ) und Weddelit (ein tetragonales

Dihydrat  $\text{CaC}_4\text{O}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ). Diese Kristalle fallen bei hoher Luftfeuchtigkeit auseinander und bilden dann eine kristalline Schicht auf der Thallusoberfläche der Flechten. Während die Flechten von Standorten ohne Luftverunreinigungen lediglich Whewellit und Weddelit besaßen, enthielten Flechtenproben von luftverunreinigten Standorten außerdem auch Gips ( $\text{CaSO}_4$ ).

Es wird angenommen, dass die Produktion von Kalziumoxalat, welches kennzeichnend für Kalkflechten ist, durch Sekretion von Oxalsäure des Mycobionten entsteht; dieses fungiert als Chelatbildner für Metallionen. Vermutlich ist die Produktion von Kalzium-Oxalat Teil eines Detoxifikationsprozesses, der durch photooxidativen Stress infolge hoher Lichtintensität abläuft. Der natürliche terrestrische Staub aus Kalziumkarbonat reagiert mit dem sauren Regenwasser und bildet dann Gips.

#### Literaturhinweis

- Garty, J., Kunin, P., Delarea, J., Weiner, S.: Calcium oxalate- and sulphate-containing structures on the thallial surface of the lichen *Ramalina lacera*: response to polluted air and simulated acid rain. *Plant, Cell and Environment* 25, 1591–1604 (2002).

H. F. Linskens, Nijmegen

## Das Fasoldt'sche Objektmikrometer – Ein Wunderwerk der Präzision

Erich Steiner

**Für das mikroskopische Arbeiten ist bekanntlich nicht nur die Vergrößerung wichtig, sondern vor allem die Fähigkeit des optischen Systems, gleichzeitig kleinste Einzelheiten sichtbar zu machen. Diese Eigenschaft wird Auflösungsvermögen genannt. Die physikalische Grenze, dicht nebeneinander liegende Punkte getrennt abzubilden, liegt beim Lichtmikroskop bei etwa 0,2 Mikrometer ( $1 \mu\text{m} = 1/1000 \text{ mm}$ ).**

Um die Schärfe und Deutlichkeit des mikroskopischen Bildes – das heißt, das Auflösungsvermögen – leichter beurteilen zu können, verwendete man schon im 19. Jahrhundert organische Probeobjekte, die gewisse, sehr kleine Einzelheiten aufwiesen, welche nur von einem Objektiv mit gutem Auflösungsvermögen sichtbar gemacht werden konnten. Anfangs nahm man als solche Probeobjekte zum Beispiel die Schuppen von Schmetterlings- und Mottenflügeln beziehungsweise die Kieselgehäuse bestimmter Kieselalgen, so genannter Testdiatomeen (z. B. *Pleurosigma angulatum*, *Surirella gemma*, *Amphipleura pellucida*). Da aber organische Objekte kleine Unregelmäßigkeiten in ihrem Feinbau aufweisen können, wurde von den Mikroskopherstellern der Wunsch nach künstlichen Testobjekten laut.

### Friedrich Adolph Nobert

Einer der hervorragendsten Köpfe auf dem Gebiet der Herstellung von künstlichen Probe- oder Testplatten war der aus Barth (Pommern) stammende Friedrich Adolph Nobert (1806–1881). Er war der älteste Sohn eines Uhrmachers. Nobert, der nur einem dürftigen Schulunterricht beiwohnen konnte, wurde ebenfalls Uhrmacher. Er wollte aber mehr sein als ein Uhrmacher in einer kleinen preußischen Stadt. Es gelang ihm durch seine hervorragenden feinmechanischen Fähigkeiten ein Stipendium am Technischen Institut in Berlin zu bekommen. 1835 wurde Nobert zum Universitätsmechaniker der Universität Greifswald ernannt. Während der 1840er Jahre begann er die Feinmaßstabtechnik zu entwickeln, die ihm große Berühmtheit einbrachte.

Er baute sich eine Kreisteilungsmaschine, auf der er Beugungsgitter, Testobjekte und Mikrometer, die Skalen von astronomischen und mathematischen Instrumenten gravierte und feine Chronometer-Triebe zuschnitt.

### Nobert'sche Probeplatten

Nobert erzeugte seine Probeplatten, indem er parallele Linien mit Hilfe seiner Kreisteilungsmaschine, die mit einem Zusatzgerät ausgestattet war, auf Glas gravierte. Am Zusatzgerät war eine sorgfältig präparierte Diamantspitze befestigt. Seine erste Probeplatte bestand aus zehn Gruppen oder Bändern. Jede Gruppe schloss eine Anzahl von einzelnen Linien mit einem bestimmten Abstand ein. Die erste Gruppe war in 1/1000 Pariser Linien eingeteilt und die zehnte in 1/4000 Pariser Linien. (Eine Pariser Linie war ein Maßstab, der von den kontinentalen Instrumentenmachern verwendet wurde. Sie entspricht einer Länge von 2,256 mm.) Die sich dazwischen befindlichen acht Gruppen bildeten eine geometrische Reihe zwischen diesen Grenzen. Von 1845 an, als Nobert als erster eine Probeplatte linierte (Abb. 1), bis zum Ende des Jahrhunderts waren seine Erzeugnisse gut bekannt. Immer, wenn die feinste Gruppe einer Probeplatte aufgelöst wurde, erzeugte Nobert eine andere Probeplatte, die noch feinere Gruppen enthielt. Im Ganzen erzeugte er sieben verschiedene Probeplatten, die hier mit ihrem Erzeugerdatum angeführt sind: Zehn-Gruppen-Platte (1845), Zwölf-Gruppen-Platte (1848), Fünfzehn-Gruppen-Platte (1849), Zwanzig-Gruppen-Platte (1851), Dreißig-Gruppen-Platte (1855), Neunzehn-Gruppen-Platte (1861), Neue Zwanzig-Gruppen-Platte (1873).

Die berühmteste Probeplatte war die Neunzehn-Gruppen Platte. Die 19. Gruppe (Linienabstand  $0,23 \mu\text{m}$ ) wurde 1869 von Dr. J. J. Woodward aus Washington aufgelöst. 1873 brachte Nobert die Neue Zwanzig-Gruppen Platte heraus, bei der die feinste Gruppe einen Linienabstand von  $0,1128 \mu\text{m}$  besitzt. Die zehnte Gruppe der neuen Platte hat den Linienabstand der 19. Gruppe der Vorgängerplatte. Die 11. Gruppe (Linienabstand  $0,21 \mu\text{m}$ ) wurde 1884 von E. M. Nelson aufgelöst. Die folgenden Gruppen konnten bis heute von keinem Lichtmikroskop aufgelöst werden. Erst 1966 ergaben elektronenmikroskopische Untersuchungen von Turner und Bradbury für die Neue Zwanzig-Gruppen Platte, dass Noberts Ungenauigkeiten bei den Linienabständen nicht schlechter als 10% sind.

### Charles (Karl) Fasoldt

Kaum bekannt bei europäischen Mikroskopikern – wohl aber bei Uhrensammlern – ist Charles (Karl) Fasoldt (1818–1898), ein deutschstämmiger amerikanischer Uhrmacher. Geboren wurde er in oder um Dresden, wo er auch seine Ausbildung erhielt. In der Revolution von 1848 war er auf der Seite der Republikaner, flüchtete durch die preußischen Linien nach Bremen und von dort in die Vereinigten Staaten. Er entkam dadurch einer Exekution durch Pulver und Blei, da über ihn ein preußisches Todesurteil gefällt worden war. Er ließ sich in Rome im Staat New York nieder, wo er seine eigene Werkstatt als Uhrmacher

eröffnete. Fasoldt war offenbar ziemlich geschickt bei seinen Erzeugnissen. Er stellte aus und gewann Preise für acht Tage ununterbrochen laufende Uhren, Wanduhren und Taschen-Chronometer. 1861 zog er nach Albany (New York), wo er seine Tätigkeiten in der Uhrenherzeugung auf astronomische Uhren und Turmuhren erweiterte. Für eine seiner Turmuhren wurde ihm in Philadelphia bei der Hundertjahr-Ausstellung 1876 die *Ehrenpreis-Medaille* und das *Verdienst-Diplom* verliehen. Fasoldt wird in *Baillies Watchmakers and Clockmakers of the World*, 3. Auflage, 1951, als Erfinder eines besonderen doppelten Hemmungsrades, bezeichnet als Fasoldts Chronometer, angeführt.

### Fasoldts Probeplatten und Mikroskope

Um 1878 kam er mit der Mikroskopie in Berührung, indem er seine Fertigkeiten wechselte und Probeplatten (*Micrometric Rulings*) nach dem Vorbild von Friedrich Adolph Nobert gravierte. 1881 machte er Reklame für Okularmikrometer beziehungsweise für Probeplatten. Professor W. Rogers und Dr. H. Ward, Mitglieder der Kommission für Mikrometrie der Amerikanischen Mikroskopischen Gesellschaft, neigten dazu, die Genauigkeit von Fasoldts Probeplatten zu bezweifeln. Artikel erschienen darüber in Band 8 von *The Microscope* (1888), die diesen Einwand enthielten. Außer Mikrometern erzeugte und verkaufte Fasoldt Mikroskopierlampen und Objektivhalter. 1886 bekam er ein Patent für einen Feder-Ob-

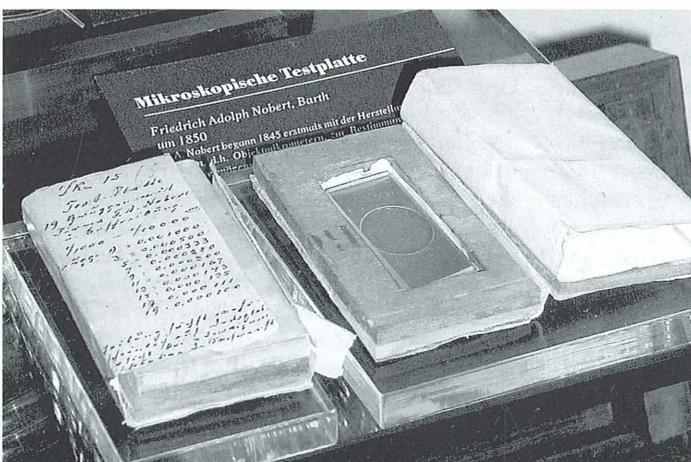


Abb. 1: Nobert'sche Probeplatte (Optisches Museum der Ernst-Abbe-Stiftung Jena).

jektivhalter, der das Wechseln der Objektive schneller und einfacher erlaubte als bei der Verwendung des Schraubgewindes.

Um 1888 machte Fasoldt Reklame für sein *Patentiertes Mikroskop*, welches so konstruiert war, dass das Zerstoren von Objektiven und Objekten durch eine unbeabsichtigte Bewegung des Tubus vermieden wurde. Ein Exemplar von diesem Instrument befindet sich im *Science Museum of London*. Es war Teil der berühmten *Crisp-Sammlung*. Das Mikroskop ist ausführlich beschrieben und illustriert im *Journal of the Royal Microscopical Society*, 2nd Series, Vol. 9 of Part 1, pp. 109–112, 1889.

Durch einen Zufall war es mir möglich, eine Fasoldt'sche Probeplatte, von der ich annehme, dass sie um 1885 erzeugt wurde, zu untersuchen. Sie besteht aus einem 76 x 26 mm großen und 2,2 mm dicken Messing-Objektträger (Abb. 2), in dem sich auf der Oberseite in einer 17 mm runden Ausnehmung ein Deckglas mit 19 auf der Unterseite des Deckglases eingravierten Linienblöcken mit Linienabständen von 50 bis 6000 Linien pro mm (siehe Tabelle 1) befindet. Die Linienblöcke sind von der Unterseite her durch ein zweites Deckglas geschützt. Zwischen den beiden durch Luft getrennten Deckgläsern ist auch eine größere Anzahl von kleinen Schmutzpartikeln vorhanden, die aber den Vorteil haben, dass mit ihrer Hilfe die schwierige Scharfeinstellung auf die Linienblöcke wesentlich erleichtert wird. Die Unter-

seite des Messing-Objektträgers hat eine nur 14 mm runde Aussparung, welche die beiden Deckgläser trägt. Außerdem ist eine runde, konische Ausfräsung vorhanden, die sich von 23 mm Durchmesser auf die oben angegebenen 14 mm Durchmesser verjüngt (Abb. 3). Da aber diese konische Ausfräsung 1,2 mm in den Messing-Objektträger hineinreicht, ist es normalerweise mit moderneren Mikroskopen beziehungsweise mit Kondensoren mit breiten Frontlinsen kaum möglich, die Probeplatte zum Beispiel zu immergieren. Man muss sich dann etwas einfallen lassen (z. B. das Kondensoroberteil anheben, damit man mit der Kondensor-Frontlinse über die Tischebene hinausragend den Messing-Objektträger immergieren kann), um genaue Messungen vornehmen zu können. Aufbewahrt wird die Probeplatte in einem mit lila Samt und weißer Seide ausgeschlagenen braunen Lederetui.

Der Messing-Objektträger besitzt auf der linken Seite ein Schild mit folgender Beschriftung: C. FASOLDT'S Micrometric Ruling, NEW SERIES, ALBANY, N. Y. No. .... Res to....., Covering glass, 1000ths inch.

Das Schild auf der rechten Seite gibt für die 19 Hauptgruppen eine Gegenüberstellung der Anzahl der Linien pro mm zur ungefähren Anzahl der Linien pro inch (1 inch = 2,54 cm) an (Abb. 2 und Tabelle 2). Auf dem rechten Schild sind irrtümlicherweise bei \*) 31050 bzw. bei \*\*) 103600 Linien pro inch angegeben. In der linken

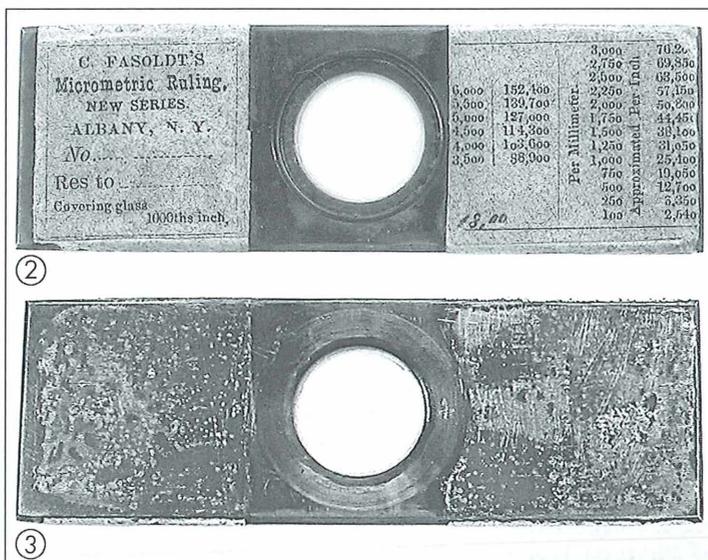


Abb. 2: Fasoldt'sche Probeplatte (Oberseite). – Abb. 3: Fasoldt'sche Probeplatte (Unterseite).

**Tabelle 1:** C. Fasoldts Micrometric Ruling, New Series (um 1885). Schema der Linienblöcke (Ansicht im bildumkehrenden Mikroskop).

19a	18a	17a	16a	15a	14a	13a	12a	11a	10a	9a	8a	7a	6a	5a	4a	3a	2a	1a
19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
19a	18a	17a	16a	15a	14a	13a	12a	11a	10a	9a	8a	7a	6a	5a	4a	3a	2a	1a

A: Anzahl der Linien pro mm, B: Abstand der Linien in Mikrometer ( $1 \mu = 1/1000 \text{ mm}$ ),  
C: Anzahl der Linien pro Gruppe.

Gruppe	A	B	C	Gruppe	A	B	C
1a	50	20	6	11a	1250	0,8	20
1	100	10	11	11	2500	0,4	39
2a	125	8	8	12a	1375	0,727	22
2	250	4	16	12	2750	0,363	43
3a	250	4	10	13a	1500	0,666	23
3	500	2	19	13	3000	0,333	45
4a	375	2,666	11	14a	1750	0,571	25
4	750	1,333	21	14	3500	0,285	49
5a	500	2	13	15a	2000	0,5	25
5	1000	1	25	15	4000	0,25	49
6a	625	1,6	15	16a	2250	0,444	27
6	1250	0,8	29	16	4500	0,222	53
7a	750	1,333	18	17a	2500	0,4	30
7	1500	0,666	35	17	5000	0,2	59
8a	875	1,142	18	18a	2750	0,363	32
8	1750	0,571	35	18	5500	0,181	63
9a	1000	1	19	19a	3000	0,333	29
9	2000	0,5	37	19	6000	0,166	57
10a	1125	0,888	20				
10	2250	0,444	39				

unteren Ecke des rechten Schildes steht handschriftlich die Zahl 18,00. Ich vermute, dass es der Verkaufspreis von 18,00 US-\$ beziehungsweise englische £ für diese Probeplatte war.

### Untersuchung der Linienblöcke

Die mikroskopische Untersuchung der Linienblöcke erfolgte mit einem Biolam Mikroskop und dem Apochromaten 90/1,30 (Ölimmersion) im Schrägllicht. Die Messungen der Linieneabstände wurde mit einem PZO-Schraubenmikrometerokular K15x und ab Linienblock 9 mit Hilfe der Colour CCD Camera GP-KR222E von Panasonic in Verbindung mit dem Olympus U-PMTV Videoadapter und einem Zeiss Okular Kpl 25x über den Bildschirm durchgeführt. Die lineare Endvergrößerung war auf dem Bildschirm (Bildschirm-Diagonale 65 cm) rund 35600fach. Die Messungen erfolg-

ten mit einem auf diese Endvergrößerung abgestimmten Messstreifen.

Das Schema der 19 Linienblöcke ist in Tabelle 1 angegeben. Sie sind in einem Rechteck von rund 4,218 mm × 0,790 mm angeordnet (im Schema aus Platzmangel nicht maßstäblich richtig gezeichnet). Jeder Linienblock besteht aus drei Gruppen. Die oberen Gruppen 1a bis 19a sind rund 301,74  $\mu\text{m}$ , und die unteren Gruppen 1a bis 19a rund 346,68  $\mu\text{m}$  lang. Die Hauptgruppen 1 bis 19 besitzen eine Länge von rund 3569,52  $\mu\text{m}$ . Sie haben außerdem immer die doppelte Anzahl von Linien (minus einer Linie) als ihre entsprechenden Gruppen 1a bis 19a (Abb. 4). Die Linienblöcke sind durch kleine Abstände voneinander getrennt.

Zwischen den Linienblöcken 7 und 8, 11 und 12, 15 und 16 beziehungsweise nach Linienblock 19 ist eine stärkere Linie vorhanden, um sich bei der für die Auflösung der Linien notwendigen starken mikroskopischen Vergrößerung

**Tabelle 2:** Anzahl von Linien auf einer Fasoldt'schen Probeplatte mit 19 eingravierten Linienblöcken. A: Anzahl der Linien pro mm, B: ungefähre Anzahl der Linien pro inch.

A	B	A	B	A	B	A	B
100	2540	1250	31750*)	2500	63500	4500	114300
250	6350	1500	38100	2750	69850	5000	127000
500	12700	1750	44450	3000	76200	5500	139700
750	19050	2000	50800	3500	88900	6000	152400
1000	25400	2250	57150	4000	101600**)		

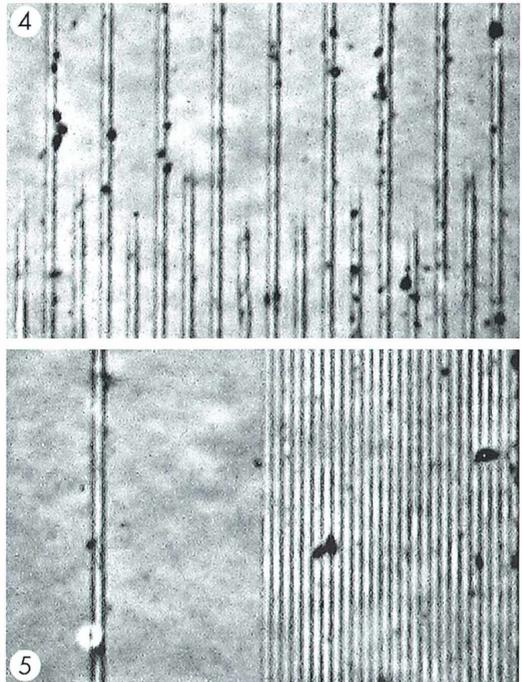
**Tabelle 3:** C. Fasoldts Micrometric Ruling, New Series (um 1885). A: Sollabstand der Linien in Mikrometer, B: Durchschnittlicher Linienabstand in Mikrometer, C: Ungenauigkeit bei den Linienabständen gegenüber dem Sollabstand in Prozent.

Gruppe	A	B	C
1a	20	19,37	-3,0
1	10	9,70	-3,0
2	4	3,84	-4,0
3	2	1,91	-4,5
4	1,333	1,27	-4,9
5	1	0,97	-3,0
6	0,8	0,84	+5,0
7	0,666	0,65	-2,5
8	0,571	0,55	-3,7
9	0,5	0,49	-2,0
10	0,444	0,43	-3,2
11	0,4	0,39	-2,5
12	0,363	0,35	-3,7
13	0,333	0,34	+2,1
14	0,285	0,29	+1,8
15	0,25	0,24	-4,1
16	0,222	0,22	-0,9
17	0,2	0,21	+4,8
18	0,181	0,18	-0,5
19	0,166	0,16	-3,7

leichter orientieren zu können (Abb. 5). Die Ergebnisse der Messungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Anmerkung: Gruppe 11a hat noch eine für Messungen nicht brauchbare 21. Linie. Die Gruppen 16, 17, 18, und 19 können lichtmikroskopisch nicht aufgelöst werden.

### Genauigkeit der Linienabstände

Durch eine große Anzahl von Messungen konnte von mir außerdem festgestellt werden, dass die Ungenauigkeit gegenüber den von Fasoldt angegebenen Linienabständen nicht schlechter ist als 5% (siehe Tabelle 3). Die



**Abb. 4:** Fasoldt'sche Probeplatte mit Linienblöcken. Übergang der Gruppe 3a (oben) zur Hauptgruppe 3 (unten) (Achromat 90/1,30, Okular PK 5x, Phasenkontrast). – **Abb. 5:** Fasoldt'sche Probeplatte mit Linienblöcken. Trennungslinie (links) zwischen den Linien-Blöcken 7 (rechts) und 8 (Achromat 90/1,30, Okular K 7x, Phasenkontrast).

Hauptgruppen 16 bis 19 konnten von mir lichtmikroskopisch nicht mehr eindeutig aufgelöst werden. Die Anzahl der Linien in den Hauptgruppen 16 bis 19 konnte nur rechnerisch auf Grund der optisch aufgelösten Linien in den Gruppen 16a bis 19a ermittelt werden. Anmerkung: Die prozentualen Abweichungen der Linienabstände in den Hauptgruppen 16

bis 19 vom Sollabstand konnten nur rechnerisch auf Grund der aufgelösten Linien in den Gruppen 16a bis 19a ermittelt werden.

Abschließend kann nur gesagt werden, dass die feinmechanische Leistung Fasoldts zur Erzeugung einer so genauen Probeplatte höchstes Lob und Bewunderung verdient.

### **Literaturhinweise**

Dippel, L.: Das Mikroskop und seine Anwendung. Band 1 und 2, Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig 1869 und 1872.

Harting, P.: Das Mikroskop. Band 1–3, Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig 1866.

Kaiser, W.: Die Technik des modernen Mikroskopes. Verlag von Moritz Perles, Wien 1906.

Nobert, F. A.: Die höchste Leistung des heutigen Mikroskops und seine Prüfung durch künstliche und natürliche Objekte. Mittheilungen aus dem natur-

wissenschaftlichen Vereine von Neu-Vorpommern und Rügen in Greifswald, 13. Jahrgang, S. 92–105, R. Gaertner's Verlagsbuchhandlung, Berlin 1882.

Osterhausen, F. von: Callweys Uhren Lexikon. Callwey Verlag, München 1999.

Padgett, D. L.: Short History of the Early American Microscopes, Vol. 12, Microscope Publs Ltd, 1975.

Steiner, E.: Die Nobert'schen Probeplatten – ein Meilenstein in der Geschichte der Mikroskopie. Mitteilungsblatt der Mikrographischen Gesellschaft Wien, Heft 2, 22–25 (1994).

Turner, G. L. E.: Essays of the History of the Microscope. Senecio Publishing Company Limited, Oxford 1980.

Turner, G. L. E.: An electron microscopical examination of Nobert's finest test-plate of twenty bands. J. Roy. Micr. Soc. 85, 435–447 (1966).

*Verfasser:* OStR Prof. Erich Steiner, Aßmayergasse 11/6, A-1120 Wien.

## **Nachricht**

### **1000 Hefte MIKROKOSMOS**

Man mag es nicht glauben. Aber dieses ist das tausendste Heft unserer Zeitschrift, das fertiggestellt wurde. Raoul Heinrich Francé hätte sich wohl kaum träumen lassen, dass seine Zeitschrift so langlebig sein würde, als er 1907 den MIKROKOSMOS gründete.

Es gab in den Folgejahren durchaus Perioden, in denen man um den Fortbestand des MIKROKOSMOS hat fürchten müssen. Während der erste Weltkrieg nur andeutungsweise Spuren in den MIKROKOSMOS-Heften hinterließ, riss der zweite Weltkrieg eine große Lücke, die schließlich zur völligen Einstellung des Erscheinens unserer Zeitschrift über einen Zeitraum von mehreren Jahren führte. Somit konnte der im Jahre 1944 angekündigte 38. Jahrgang aufgrund der katastrophalen Kriegswirren nicht mehr realisiert werden. Dieser erschien dann 1948, als von einer optimistischen und tatkräftigen Redaktion die Herausgabe unserer Zeitschrift wieder aufgenommen wurde. In der Folge, so sollte man denken, hat es eigentlich keine weiteren Irritationen geben können. Dem war aber nicht so. Denn der Franckh-Kosmos-Verlag entschied, zum Ende des Jahres 1992 das Erscheinen des MIKROKOSMOS einzustellen. Seinerzeit kam uns dieser Plan zu Ohren und wir haben uns vehement und letztendlich erfolgreich dafür eingesetzt, dass der MIKROKOSMOS vom Gustav Fischer Verlag fortgeführt wurde.

Die folgende Zeit war allerdings auch nicht von langfristiger Ruhe geprägt. So wurde der Gustav Fischer Verlag Mitte der 90er Jahre von der Verlags-

gruppe Georg von Holtzbrinck aufgekauft und wenig später mit dem ebenfalls zu dieser Gruppe gehörenden Verlag Urban & Schwarzenberg fusioniert. Es wurde einen Moment lang deutlich über den Fortbestand unserer Zeitschrift nachgedacht. Die Entscheidung fiel dann glücklicherweise für uns positiv aus: Wir konnten weiterhin erscheinen.

Zum Ende des vergangenen Jahres erreichte uns die Mitteilung, dass der Urban & Fischer Verlag seinerseits von einem der weltweit führenden Medien-Giganten, vom Elsevier Verlag, aufgekauft wurde. Das Karussell beginnt sich erneut zu drehen.

Wir hoffen, dass es uns weiterhin vergönnt sein wird zu existieren und bringen somit nun mit einem gewissen Stolz das 1000. Heft des MIKROKOSMOS auf dem Markt.

Wie alles weitergehen wird, ist derzeit ungewiss. Die Anzeichen sind allerdings eher positiv als negativ zu werten. Denn es sind seit dem Übergang des Verlags in neue Hände einige Monate ins Land gegangen, ohne dass wir irgendwelche Besorgnis erregende Nachrichten vernommen haben. Das lässt hoffen. Wir, die Redaktion, werden natürlich alles tun, dass wir weiter existieren können. Unsere Leser können uns helfen, indem Sie uns die Treue halten und weitere Abonnenten für den MIKROKOSMOS werben. Und Sie, unsere Autoren von Artikeln, sollten umso aktiver sein, uns Manuskripte zuzusenden.

Ihr Redaktions-Team aus Berlin  
Klaus Hausmann und Renate Radek

## Ruscus – Aus der Bastelwerkstatt der Evolution

Erich Lühje

**Er fehlt in keinem kompetenten Biologielehrbuch – *Ruscus aculeatus*, der Mäusedorn. Abbildungen zeigen ihn mit Blüten, die inmitten seiner Blätter zu sitzen scheinen – da stimmt doch etwas nicht (Abb. 1)? Bevor wir zur Klinge greifen, lohnt sich auch ein Blick in seine Papiere.**

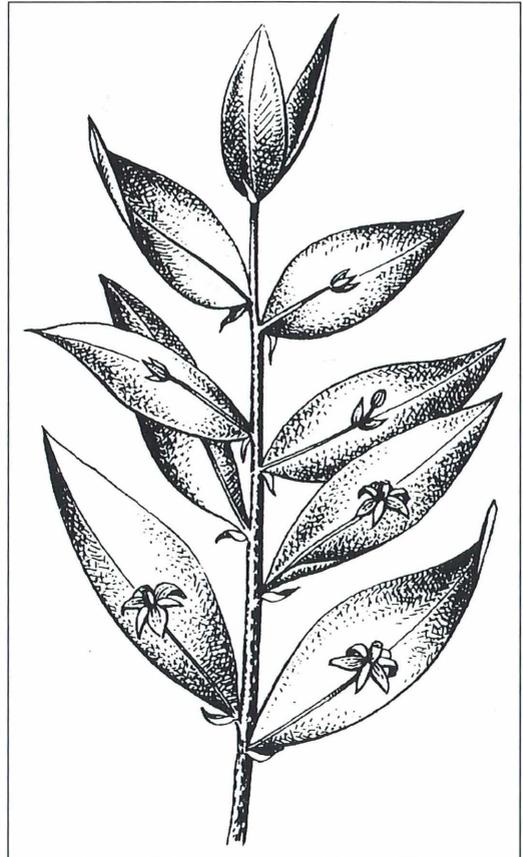
**R**uscus (bzw. *Ruscum*) ist der lateinische Name für einen alten Bekannten der Naturkundler. Nach Plinius wurden auf dem Lande (*rus*) Besen (*scopa*) aus *Ruscus* gemacht; man wird hinter diese Worterklärung wohl ein Fragezeichen setzen (Schubert-Wagner, 1975) und das Wort auf *riksās* (Sanskrit) zurückführen (rau, unangenehm zu berühren; André, 1985).

### Kletterhilfe, Mäuseschreck, Besenstrauch

Den römischen Bauern dienten die Zweige des Kleinstrauchs zum Anbinden des Weinstocks. Der Name Mäusedorn kommt daher, dass seine stechenden Zweige, über Speisen ausgelegt, die Mäuse fernhalten sollten (Steinbach, 2000).

In den Lehrbüchern erscheint die auch Dornmyrte genannte Art wegen der Umwandlung ihrer Seitenzweige in blattförmige Organe, die als solche keineswegs spektakulär wirkt. Wenn diese Phyllokladien freilich Blüten tragen, sollte jeder Prüfling erkennen, dass es sich nicht um normale Blätter handeln kann! Die folgende Erläuterung in einem Gehölzfürer trägt allerdings eher zur Verwirrung denn zur Klärung bei: *Die Laubblätter bestehen aus einer flächenförmigen und meist grünen Spreite (= Lamina) und vielfach einem stabförmigen Blattstiel (...). Beim Mäusedorn (*Ruscus aculeatus*) fehlt eine Blattspreite. Sie wird durch den blattartig verbreiterten Blattstiel (...) ersetzt. Dass es sich bei ihm tatsächlich nicht um ein Blatt handelt, geht daraus hervor, dass er in den Achseln von Tragblättern steht und selber kleine schuppenförmige Blätter trägt, in deren Achseln Blüten entspringen (...)* (Godet, 1989). Ursache dieser Unklarheit ist die sprachlich mögliche, hier aber terminologisch unstatthafte Gleichsetzung von Stängel und Stiel für das

griechische Wort *klados*: Ein Blattstiel ist kein *klados*. Schlimmer noch: Sehr wohl dienen verbreiterte, spreitenartig flache Blattstiele xeromorpher Pflanzen anstelle der reduzierten Spreiten als Assimilationsorgane (bekannt bei



**Abb. 1: *Ruscus aculeatus* – auf den ersten Blick verwundern die scheinbar auf den Blättern sitzenden Blüten des Mäusedorns (aus Urania Pflanzenreich).**

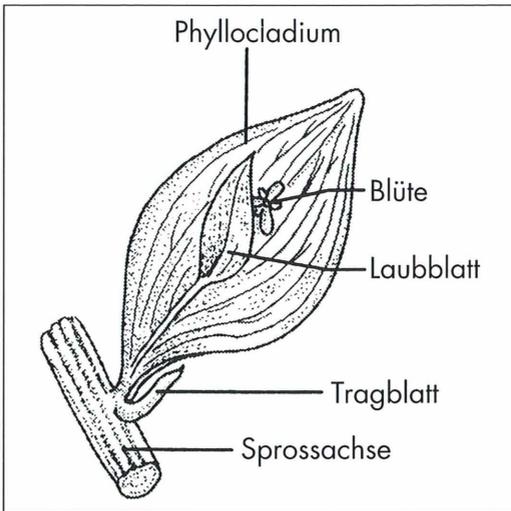
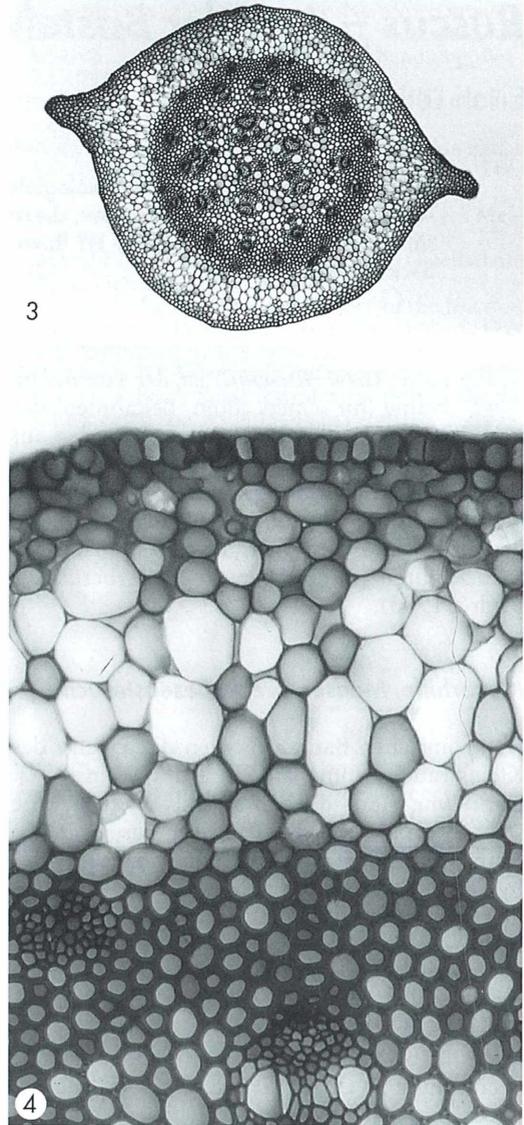


Abb. 2: Auch beim Mäusedorn hat alles seine Richtigkeit: Aus der Achsel eines Tragblattes entspringt ein Seitentrieb mit Laubblatt und Blüte (aus Kück und Wolff, 2002).

Abb. 3: Stängelquerschnitt des Zungen-Mäusedorns (*Ruscus hypoglossum*). Nach Bau und Funktion sind Epidermis (Schutz und Gasaustausch), Assimilationsgewebe, Wasserspeichergewebe sowie Festigungsgewebe mit Leitbündeln zu unterscheiden. Die Gewebe der zwei leistenförmigen Ausbuchtungen besitzen keine verstärkten Zellwände; sie können zur Vergrößerung der Assimilationsfläche dienen. Vergr.: ca. 35 $\times$ . – Abb. 4: Epidermis, Assimilations- und Wasserspeichergewebe des runden Stängels stellen das Baumaterial für die Flachspresse. Vom Sklerenchym-Gefäßkomplex der Sprossachse beteiligen sich nur die geschlossen-kollateralen Leitbündel (mit Scheide) am Umbau zum Flachspross. Vergr. ca. 270 $\times$ .



den meisten Akazien). Diese Gebilde heißen jedoch Phyllodien (und nicht Phyllokladien; Schubert und Wagner, 1975). Abbildung 2 stellt die Dinge eindeutig dar.

*Ruscus*-Sprosse werden gern zu Trockensträußen verarbeitet, da sich ihre grüne Färbung längere Zeit frisch erhält. Beerentragende *Ruscus*-Zweige in Gestecken findet man in Blumen Geschäften besonders zur Weihnachtszeit angeboten. In den roten Beeren sind Saponine, besonders Ruscogenin, enthalten, welche giftig sind (Roth et al., 1994)

### Flachspresse – Einfach nur plattgemacht?

Während die Phyllokladien des Mäusedorns oft abgebildet werden, habe ich noch keine Darstellung ihres Querschnitts gefunden. Hier können wir mit einer eigenen Untersuchung einsetzen.

*Ruscus*-Triebe erhält man in den Blumenläden. Von ihnen lassen sich sehr gut Handschnitte anfertigen. Epidermispräparate der Phyllokladien erhält man, wenn man mit einer stumpfen Industrieklinge oder

Ähnlichem alle Schichten von oben beginnend bis auf die gewünschte Epidermis abschabt. Ist die obere Schicht teilweise entfernt, legt man das Präparat für etwa 10 Minuten in Klorix. Dann arbeitet man vorsichtig weiter und wiederholt gegebenenfalls die Klorixbehandlung. Es hat sich bewährt, das zu bearbeitende „Blatt“stück auf einen Objektträger zu legen und ein Ende mit einem anderen Träger fest anzudrücken. Von dieser Stelle führt man mit der Klinge streichende Bewegungen zum freien Ende aus. Das Material soll immer feucht gehalten werden. Mikrofotos der ungefärbten Epidermen gelingen besonders schön mit polarisiertem Licht und Zwischenobjekten (Folien). Dabei werden die Zellwände je nach Verlauf durch unterschiedliche Farben kontrastiert. Färbungen führt man zum Beispiel mit Safranin durch.

Evolutiv soll das Scheinblatt aus dem Spross durch Abflachung (als *Platycladium*) entstanden sein. Haben wir uns also schlichtweg einen

plattgedrückten Stängel vorzustellen? Wir schneiden zunächst den *Ruscus*-Stängel. Im Querschnitt tritt der Bauplan eines einkeimblättrigen Sprosses zutage, erweitert um ein großzelliges Wasserspeichergewebe in der Rinde (Abb. 3 und 4). Hierbei handelt es sich um eine Trockenanpassung; *Ruscus* kommt im Mittelmeergebiet und auf den Kanarischen Inseln an trockenen, sonnigen und warmen Hängen, in Gebüsch und Wäldern vor (Steinbach, 2000). Im sklerenchymatischen Mittelteil des Stängels liegen die geschlossen-kollateralen Leitbündel gestreut.

Sollte dieses konzentrische Organ bei seiner Umwandlung zum Flachspross nur proportional umstrukturiert worden sein? Querschnitte des Phyllokladiums zeigen: Das massive Sklerenchym der Sprossachse ist verschwunden. In der Spreite durchziehen die Leitbündel das Me-

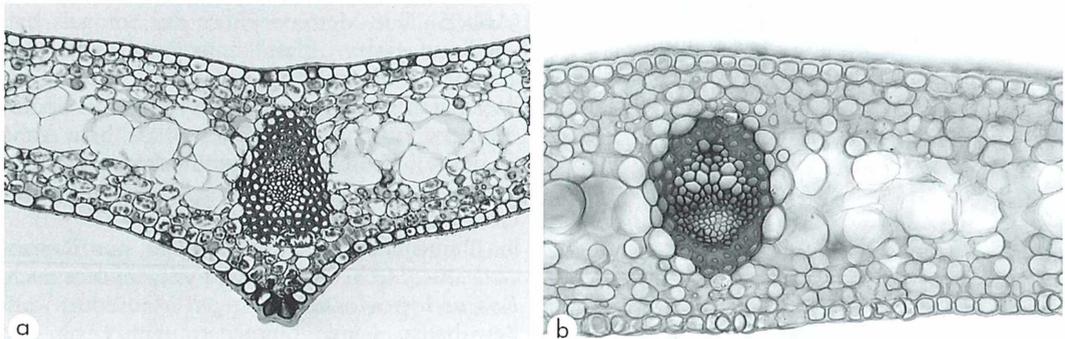


Abb. 5a und b: Querschnitt durch das Phyllokladium von (a) *Ruscus aculeatus* und (b) *Ruscus hypoglossum*. In beiden Flachsprossen erkennt man unter den Epidermen Assimilationsgewebe sowie eine zentrale Wasserspeicherschicht. Das Sklerenchym des Stängels ist auf das „blatt“übliche Ausmaß einer Bündelscheide reduziert. Vergr.: a ca. 85 $\times$ , b ca. 175 $\times$

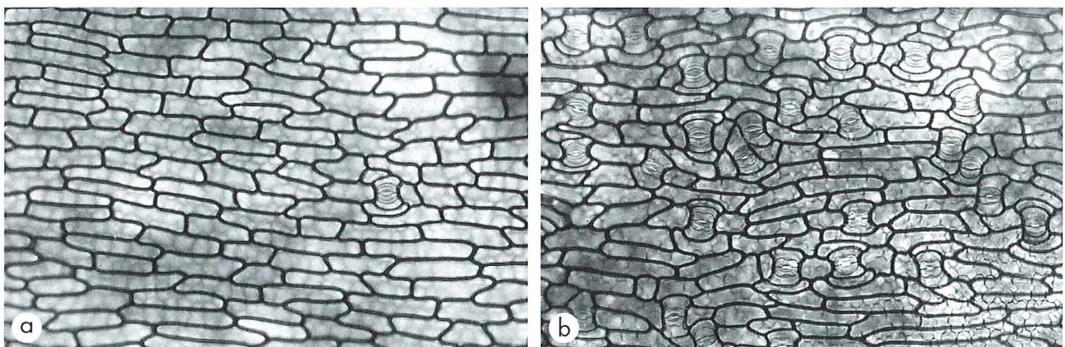


Abb. 6a und b: Epidermis von *Ruscus hypoglossum*. Dem symmetrischen (äquifazialen) Innenbau entsprechend, besitzt das Phyllokladium in beiden Epidermen (a obere Epidermis; b untere Epidermis) Stomata, allerdings auf der Oberseite in sehr viel geringerer Anzahl. Vergr. ca. 120 $\times$ .

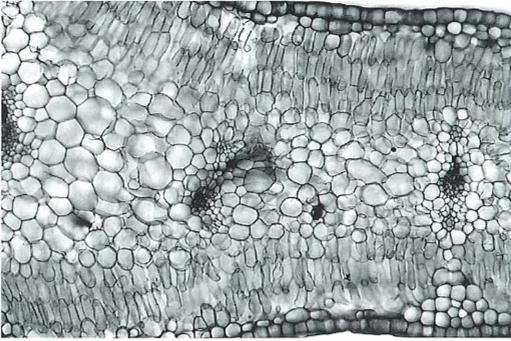


Abb. 7: Die Stranddistel (*Eryngium maritimum*) besitzt ähnlich dem Mäusedorn versteifte Blätter mit stacheligem Rand. Auch im Inneren liegt derselbe äquifaziale Bauplan mit Wasserspeicherschicht vor. Vergr. ca. 60×.

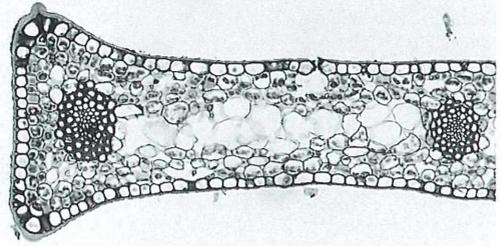


Abb. 9: Querschnitt durch den Blattrand von *Ruscus aculeatus*: Die Phyllokladien dieser Art gewinnen ihre Starrheit durch eine markante Randversteifung. Vergr. ca. 90×.

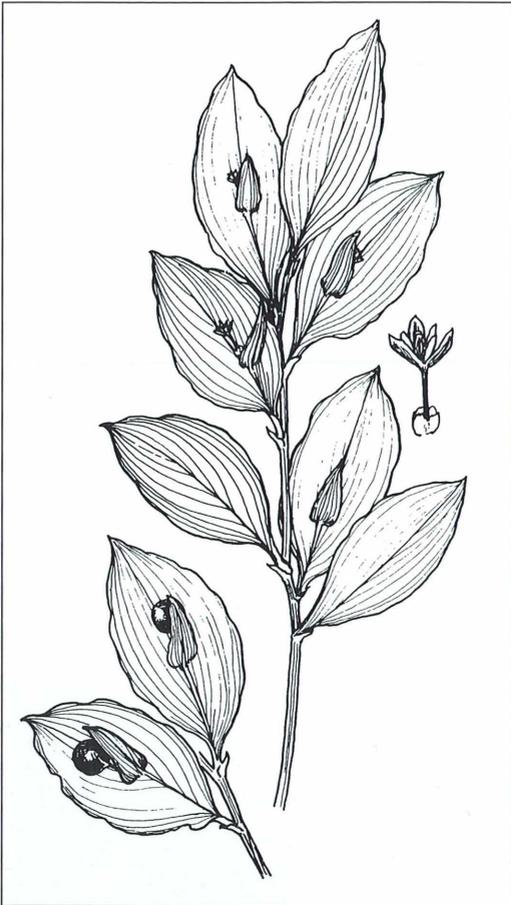


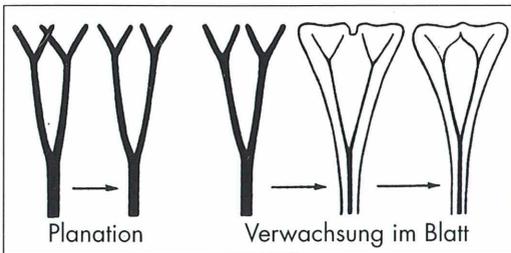
Abb. 8: *Ruscus hypoglossum* besitzt größere, weiche Phyllokladien als der Mäusedorn (aus Polunin, 1970).

senchym parallel. Unter den Epidermen liegt jeweils ein Assimilationsparenchym, welches an die mittleren Wasserspeichertzellen grenzt (Abb. 5). Die Metamorphose des Stängels hat ein äquifaziales „Blatt“ entstehen lassen. Bei genauer Untersuchung der Querschnitte entdeckt man auch in der oberen Epidermis Spaltöffnungen (amphistomatischer „Blatt“bau; Abb. 6a und b). In unseren Breiten finden wir funktions- und baugleiche (echte) Blätter beispielsweise bei der Stranddistel (Abb. 7).

In Blumenläden erhält man nicht nur *Ruscus aculeatus* (Stechender Mäusedorn), sondern auch *Ruscus hypoglossum* (Zungen-Mäusedorn) als Beigabe zu seinen Blumensträußen (Abb. 8). Seine Phyllokladien sind ledrig-biegsam, nicht starr und stechend wie bei *R. aculeatus* (Polunin, 1971). Worauf beruht dieser Unterschied? Ein Vergleich von Querschnitten beider Flachspresse bringt es zutage: Bei *R. aculeatus* ist der Rand flaschenöffnerartig verbreitert und gewährleistet damit die Starrheit des Flachspresse (Abb. 9).

### Das Blatt zum zweiten Mal erfunden

Die evolutive Familienstory der Gattung *Ruscus* dürfte im Zeitraffer etwa folgendermaßen verlaufen sein: Ein Vorfahre hatte normale Laubblätter. Wohl als Anpassung an ein wärmeres und trockeneres Klima bildeten jüngere Ahnen die Blätter zu schuppenförmigen Gebilden zurück (Transpirationsschutz; vergleiche das Tragblatt in Abb. 2). Dann mag das Klima sich erneut geändert haben, und *Ruscus* hätte,



**Abb. 10: Spross wird Blatt – nach der Telomtheorie alles schon einmal dagewesen. Entstehung des Laubblattes aus flächig verwachsenen Stängeln (Dietrich und Stöcker, 1967).**

vermenschlicht ausgedrückt, seine Blätter gerne wiedergehabt.

Aber – they never come back. Ein komplexer Evolutionsvorgang wie die Blattreduktion ist irreversibel. Bei der Rückkehr zur aufgegebenen Lebensform wurden die schuppenartigen *Ruscus*-Blätter nicht wieder vergrößert, sondern es entstanden blattartige Phyllocladien (Strasburger, 1991). Schaut man noch weiter in die Stammesgeschichte zurück, hat der Umbau runder Stängel zum flachen Assimilationsorgan einen vergleichbaren Vorläufer. Denn auch die echten Laubblätter sind aus Stängeln entstanden. Endständige Verzweigungen (Telome) blattloser Nacktfarne haben sich zunächst in einer Ebene angeordnet (Planation) und sind dann miteinander verwachsen (Abb. 10). Damals (vor über 400 Millionen Jahren) besaßen die Nacktfarne an ihren Stängeln allerdings noch keine Blüten, sondern Sporenkapseln. Diese findet man heute noch beispielweise un-

ter Farnwedeln und in abgewandelter Form an den Staub- und Fruchtblättern der Blütenpflanzen. Der *Ruscus*-Vorfahre war indes eine Blütenpflanze, und auf dem Abwandlungsprodukt seines Stängels stehen demzufolge Blüten.

### Danksagung

Sehr herzlich danke ich Herrn Robin Wacker (Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft Mainfranken), Weinbergstr. 29, 97261 Güntersleben, für die Überlassung seiner Mikrotompräparate für die Abbildungen 5a und 9.

### Literaturhinweise

- André, J.: Les nomes des plantes dans la Rome antique. Société d'édition Les belles lettres, Paris 1985.  
 Dietrich, G., Stöcker, F. W. (Hrsg.): ABC Biologie. 5. Aufl., VEB Brockhaus Verlag, Leipzig 1967.  
 Godet, J.-D.: Bäume und Sträucher. Verlag Neumann-Neudamm, Melsungen 1989.  
 Kück, U., Wolff, G.: Botanisches Grundpraktikum. Springer Verlag, Berlin 2002.  
 Polunin, O.: Pflanzen Europas. 2. Aufl., BLV, München 1970.  
 Roth, L., Daunder, M., Kormann, K.: Giftpflanzen – Pflanzengifte. 4. Aufl., ecomed, Landsberg/Lech 1994 (Nikol Verlagsgesellschaft Hamburg).  
 Schubert, R., Wagner, G.: Pflanzennamen und botanische Fachwörter. 6. Aufl., Neumann Verlag, Radebeul 1975.  
 Steinbach, G.: Bäume und Sträucher. Mosaik Verlag, München 2000.  
 Urania Pflanzenreich, Blütenpflanzen 2. Urania-Verlag Leipzig.

Verfasser: Dr. Erich Lüthje, Kruppallee 13, D-24146 Kiel

## Damit die Alzheimer-Krankheit ihre Schrecken verliert



Dr. Alois Alzheimer

### Für eine gesunde Zukunft!

Wir klären auf und fördern Erfolg versprechende Forschungsprojekte für Früherkennung, Linderung und Heilung der Alzheimer-Krankheit.

Nützliche Ratgeber und wichtige Informationen zur Alzheimer-Krankheit liegen kostenlos für Sie bereit.



Alzheimer Forschung Initiative e.V.  
 Grabenstraße 5 · 40213 Düsseldorf  
 Telefon (kostenlos): 0 800 / 200 400 1  
 www.alzheimer-forschung.de

## Aus der Industrie

### Neue Nachtsichtgeräte von MINOX

Immer größer wird die Nachfrage von Outdoor Fans nach ebenso innovativen wie handlichen und praktischen Produkten. Multifunktionale Messgeräte und Ferngläser aus dem Sortiment des Wetzlarer MINOX Unternehmens gelten dabei als verlässliche und ideale Begleiter für Aktivitäten in freier Natur. Das MINOX NV 300 (Abb. 1) sowie das MINOX NV 200 (Abb. 2) sorgen trotz kleinster Abmessungen und minimalem Gewicht für Durchblick und Orientierung – selbst bei mondloser Nacht nur im Licht der Sterne. Wenn selbst lichtstärkste Ferngläser mit hoher Dämmerungszahl an ihre optischen Grenzen geraten, kommen die Nachtsichtgeräte zum Einsatz. Ob zur Orientierung im Gelände oder auf See, beim Beobachten,erspähnen und Jagen oder für den Objektschutz: Das MINOX NV 300/NV 200 ermöglicht auch bei tiefer Dämmerung und in der Nacht eine geräuschlose und diskrete Beobachtung. Dabei werden selbst vom menschlichen Auge nicht wahrnehmbare Lichtfrequenzen aus Sternenhelligkeit oder Horizontstrahlung verstärkt und anvisierte Objekte durch exzellente, voll vergütete Linsensysteme in Verbindung mit einem eingebauten Infrarot-Aufheller brillant, klar und scharf abgebildet. Das optische System des nur 500 Gramm leichten MINOX NV 300 sorgt für eine 10.000fache Lichtverstärkung und 2,5fache Vergrößerung. Das noch kleinere und nur 330 Gramm leichte MINOX NV 200 bietet eine 8.000fache Lichtverstärkung bei 2facher optischer Vergrößerung.

Neben ihren hervorragenden technischen Qualitäten und den kompakten Abmessungen bestechen die beiden innovativen Nachtsichtgeräte auch durch ihr Design. Die ergonomische Formgebung der in einem speziellen Soft-Touch-Lack erscheinenden Gehäuse ermöglicht dabei eine äußerst einfache Handhabung. Beide Geräte werden inklusive Tasche und Batterie geliefert und sind ab Februar 2003 im Fachhandel erhältlich.

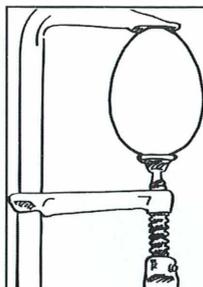


Abb. 1: MINOX NV 300.



Abb. 2: MINOX NV 200.

Weitere Informationen bei: MINOX GmbH Optische & Feinmechanische Werke, Andrea Schmidt-Agel, Walter-Zapp-Straße 4, D-35578 Wetzlar, Tel.: 06441/91 76 13, Fax: 06441/91 76 12, e-mail: [info@minox.com](mailto:info@minox.com), Internet: <http://www.minox.com>.



## Eingespannt?

Stress und Hektik sind häufig Ursachen von Spannungskopfschmerzen. Befreien Sie Ihren Kopf und informieren Sie sich!

Die Broschüre "Kopfschmerzen-Anleitung zur Selbsthilfe" erhalten Sie bei Einsendung eines mit 0,77 € frankierten Rückumschlages (DIN A5) kostenlos bei

DEUTSCHES GRÜNES KREUZ e. V.  
Stichwort: Kopfschmerz

Postfach 1207  
35002 Marburg



# Wissenschaft, Großindustrie und neuer Sündenfall – Eine Interpretation von Wilhelm Raabes Roman „Pfisters Mühle“

Rainer Hendel

**Vielen Mikroskopikern ist Wilhelm Raabes Roman *Pfisters Mühle* dank der Aufsätze August Thienemanns als *Roman der Abwasserbiologie* bekannt. Diese Deutung erfasst nur einen Teilaspekt des Werks. Es bedarf einer Neubewertung.**

**W**ilhelm Raabe (1831–1910) (Abb. 1) gilt allgemein als bedeutender Autor des Realismus. Vor allem seine späten Romane und Erzählungen spiegeln die Lebensbedingungen des mittleren Bürgertums im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts. Dennoch wird er wenig gelesen. Es gibt derzeit nicht viele Ausgaben seiner Werke auf dem Buchmarkt. In den Schulen steht sein Name natürlich im Lehrplan für Deutsch in der Oberstufe. Meist beschäftigt man sich aber mit anderen Autoren der Epoche, wie Keller, Storm oder Hauptmann, intensiver als mit ihm.

## Literatur von Gestern?

Raabe fordert nämlich erfahrene Leser. Seine Texte sind durchsetzt mit Anspielungen auf klassische Werke und verlangen daher ausgedehnte Kenntnisse der literarischen Tradition. Seine Erzähler wirken oft resignativ und halten zu den dargestellten Vorgängen zeitliche und ironische Distanz, die Erzählstrukturen sind komplex, die Zeitebenen werden nicht selten vermischt, der Erzählfluss ist breit und langsam, schließlich galten die dargestellten Vorgänge schon zu Lebzeiten Raabes als nicht aktuell.

Der letzte Vorwurf trifft für die Erzählung *Pfisters Mühle* (1884) aber nicht zu. Ihr Thema ist die Verunreinigung eines Mühlenbaches durch Abwässer und der Kampf des Müllers gegen die negativen Auswirkungen des industriellen Fortschritts. Hier wird die biologische Wasseranalyse zum ersten Mal Gegenstand der Literatur. Ist ihre Darstellung aber auch das Ziel des Romans?

## Ein Sommerferienheft

Raabe lässt seinen Erzähler, den Altphilologen Eberhard Pfister, mit seiner Frau die Sommerferien in einer alten Wassermühle verbringen, wo er als Sohn des Müllers aufgewachsen ist (Abb. 2). Haus und Grundstück sind verlassen, denn er hat sein Erbe vor kurzem an eine Zuckerfabrik verkauft, die hier ein neues Werk aufrichten will. Seine Erinnerungen an die Vergangenheit schreibt er während der Urlaubswochen in einem *Sommerferienheft* auf 22 Blättern nieder.

Pfisters Vater, so erfährt der Leser aus der Niederschrift, hatte zusätzlich zum überkommenen Landwirtschafts- und Mahlbetrieb eine gutgehende Ausflugswirtschaft betrieben, die besonders von der akademischen Jugend der etwa eine Wegstunde entfernten Stadt frequentiert wurde. Da er jedoch angesichts der zunehmenden Industrialisierungsbewegung der Gründerzeit in seinem Gewerbe keine Zukunft mehr gesehen hatte, bestimmte er früh seinen Sohn zum Gelehrten und ließ ihn durch seinen Pflege-sohn, einen verbummelten Philosophiestudenten namens Adam August Asche, auf das Gymnasium vorbereiten.

Die Ahnungen des alten Pfister sollten nicht trügen. Eberhard beschreibt in seiner Rückschau, wie der bisher klare Mühlenbach in jedem Herbst plötzlich, wie es in der Terminologie der Ökologen heißt, umzukippen begann und stinkende Gase entwickelte. Die Gäste blieben weg, die Knechte und Angestellten kündigten bis auf die zwei treuesten, Christine und Samse. Asche, von der Philosophie zur Naturwissenschaft umgeschwenkt, analysierte mit

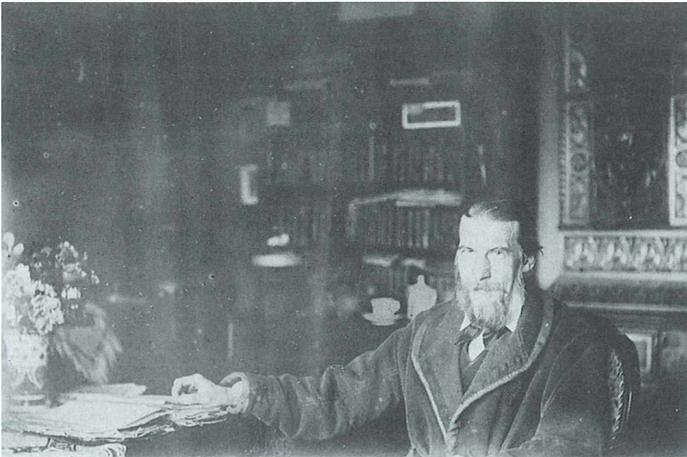


Abb. 1: Wilhelm Raabe in seinem Arbeitszimmer in Braunschweig, Leisewitzstraße 7, am 9. September 1889. Das Originalfoto befindet sich in der Bildersammlung des Stadtarchivs Braunschweig unter der Signatur H XVI: G II 2/Raabe (Format 2).

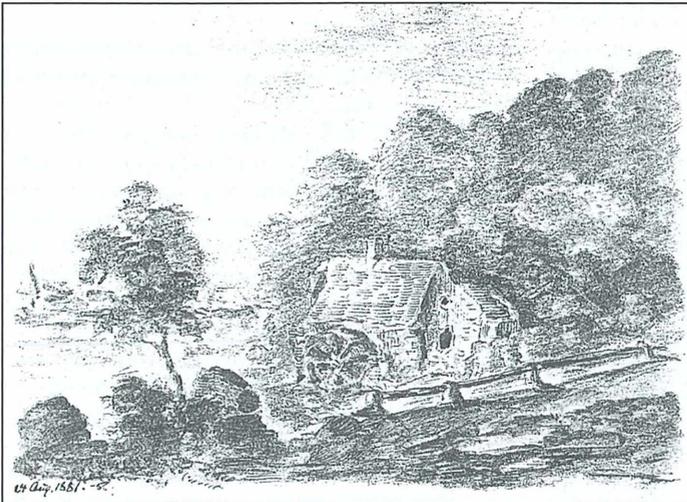


Abb. 2: Raabes Vorstellung von einer Wassermühle. Aquarell, mit Bleistift konturiert, bezeichnet „24. Aug. 1881“, 11,5 × 10 cm. Die Originalzeichnung befindet sich im Städtischen Museum Braunschweig (vgl. Henkel, G. (Hrsg.): Raabe und Braunschweig 1870–1910. Lebenszeugnisse und Werke des Schriftstellers und Zeichners aus den Beständen der Stadt Braunschweig. Katalog zur Ausstellung der Stadtbibliothek in Verbindung mit dem Städtischen Museum, 5. Juli bis 13. September 1998, S. 91. Braunschweig 1998.

Hilfe des Mikroskops die Organismen, die das Mühlrad mit Schleim überzogen hatten. Auf dieser Grundlage erstellte er ein Gutachten, welches eindeutig die ungeklärten Abwässer einer nahen Zuckerfabrik als Ursache der Misere ausmachte. Pfister strengte einen Prozess gegen die Fabrik an. Asches Expertise und die tatkräftige Unterstützung des Rechtsanwalts Riechei, in seinen Studententagen Stammgast der Mühlenschänke, ließen ihn nach Jahren den Rechtsstreit gewinnen.

Vater Pfister hatten jedoch mittlerweile die Aufregungen gebrochen. Sterbend legte er fest, dass sein Sohn Eberhard das Mühlenanwesen verkaufen und das Kapital nach Möglichkeit in dem Großbetrieb für chemische Reinigung,

den Asche mittlerweile gegründet hatte, anlegen solle.

### ***Mikroskopische Untersuchung am ersten Weihnachtstag***

Die Mitte des Romans: Dreh- und Angelpunkt bilden das elfte bis vierzehnte Blatt von Eberhard Pfisters Aufzeichnungen, die Beschreibung der abwasserbiologischen Untersuchung.

Doktor Asche erhält unvermutet Besuch. Der alte Müller und Samsse sind gekommen, um ihn zu bitten, die Ursache des bestialischen Gestankes herauszufinden, der die Luft in der Mühle verpestet. Sie treffen den Chemiker dabei, wie er

dubiose Reinigungsexperimente mit der Wäsche seiner Mitbewohner anstellt. Er willigt ein, als Gutachter in einem möglichen Prozess aufzutreten. Am 24. Dezember wandern er und Eberhard zur Mühle. Sie feiern zwischen dem Duft von Gänsebraten und dem Gestank von Ammoniak den heiligen Abend. Am darauffolgenden Morgen analysiert Asche die Verunreinigung,

*„Da rauschte milchigtrübe, schleimige Fäden absetzend, übelduftend der kleine Fluß unbeschäftigt weiter in den ersten Christtag. Christtäglich, weihnachtsfestlich war mir nicht zu Sinne, und in Spannung und fast in Angst sah ich auf meinen chemisch und mikroskopisch gelehrten Freund und Exmentor, der eben die schleimschlüpfrige Masse, die er aus dem Getriebe entnommen hatte, von der Hand abspülte.“<sup>1</sup>*

Asche definiert zunächst den äußeren Anschein: *„... Augenblicklich erkenne ich in der Tat eine beträchtliche Ablagerung niederer pflanzlicher Gebilde, worüber das Weitere im Verlaufe der Festtage das Vergrößerungsglas ergeben wird. Pilzmassen mit Algen überzogen und durchwachsen, lehrt die wissenschaftliche Erfahrung. Aber was für Pilze und welche Algen bei gegebener Verunreinigung der Adern unserer gemeinsamen Mutter? Das herauszukriegen im eigenen industriellen Interesse, würde dann wohl meine Weihnachtsbescherung sein, mein Sohn Eberhard!«<sup>2</sup>*

Die mikroskopische Analyse bringt Klarheit: *„Wir stellten das Mikroskop in die wenigen, hellen Stunden des ersten Christtages, und der Doktor begab sich an die genauere Untersuchung des Unflats mit der Hingebung, welche Vater Pfister aus früherem, schönerem Verkehr mit der Universitas litterarum nur als »Biereifer« bezeichnen konnte. Und begreiflicherweise taten Vater Pfister und sein Stammhalter nicht das geringste, diesen Eifer zu dämpfen. Sie hielten sogar die Stubentür verriegelt und saßen stumm, mit den Händen auf den Knien, und hielten dann und wann sogar den Atem an, wenn der Mann der Wissenschaft zu einem neuen Resultate gelangt war und uns daran teilnehmen ließ.“*

*»Wie ich es mir gedacht habe, was das interessante Geschlecht der Algen anbetrifft, meistens kieselschalige Diatomeen. Gattungen Melosira, Encyonema, Navicula und Pleurosigma. Hier auch eine Zygnemacee. Nicht wahr, Meister, die Namen allein genügen schon, um ein Mühlrad anzuhalten?«*

*»Das weiß der liebe Gott«, ächzte mein Vater. »Jawohl, groß ist sein Tiergarten«, meinte ruhig Adam Asche. »Was die Pilze anbetrifft, so kann ich leider nicht umbin, Ihnen mitzuteilen, daß sie den Geruch, über den Sie sich beklagen, Vater Pfister, durch ihre Angehörigkeit zu den Saprophyten, auf deutsch: Fäulnisbewohnern, vollkommen rechtfertigen. Was wollen Sie denn eigentlich, alter Schoppenwirt? Ein ewig Kommen und ein ewig Gehen! Haben die Familien Schulze, Meier und so weiter den Verkehr in Pfisters Mühle eingestellt, so haben Sie dafür die Familien der Schizomyceten und Saprolegniaceen in fröhlichster Menge, sämtlich mit der löblichen Fähigkeit, statt Kaffee in Pfisters Mühle zu kochen, aus den in Pfisters Mühlwasser vorhandenen schwefelsauren Salzen in kürzester Frist den angenehmsten Schwefelwasserstoff zu brauen. Lauter alte gute Bekannte - Septothrix, Ascococcus Billrothii, Cladotrix Cohn und hier -«*

*Er richtete sich auf von seinem Instrument und seinen Vergrößerungsobjekten. Er fuhr mit beiden Händen durch die Haare. Er blickte von dem Vater auf den Sohn, legte lächelnd dem Vater Pfister die Hand auf die Schulter und sprach, was ihn selber anbetraf, vollkommen befriedigt und seiner Sache gewiß:*

*»Beggiatoa alba!« (Abb. 3)*

*»Was?« fragte mein Vater. »Wer?« fragte er.*

*»Krickero!« sagte Doktor Adam Asche, und der alte Herr faßte seine Stuhllehne, daß der Sitz unter ihm fast aus den Fugen ging ...<sup>3</sup>*

Am zweiten Feiertag beweist eine Exkursion den Bach hinauf zum Gelände der nahen Zuckerfabrik, dass die Quelle der Verschmutzung dort zu suchen ist.

*„Kurz, wir sahen meines Vaters Mühlwasser je höher hinauf, desto unsaubrer werden, wir sahen noch mehr als einen auf der Seite liegenden Fisch an uns vorbeitreiben, und wir füllten, die Nasen zuhaltend, Samses Flaschenkorb und versahen jede einzelne Flasche mit einer genauen Bezeichnung der Stelle, wo wir die geschändete Najade um eine Probe angegangen waren.“<sup>4</sup>*

Am Ende des Weges sehen sie den Bau der Zuckerfabrik. *„Jenseits der Wiese erhob sich hoch aufgetürmt, zinnengekrönt, gigantisch beschornsteint - Krickero! Da erhob sie sich, Krickero, die große, industrielle Errungenschaft der Neuzeit, im wehenden Nebel, grau in grau, schwarze Rauchwolken, weiße Dämpfe*

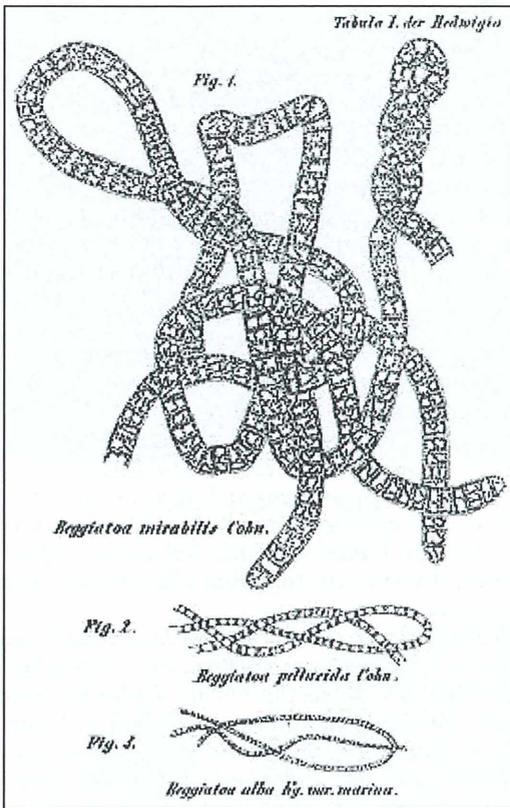


Abb. 3: F. Cohn: Zeichnung einer *Beggiatoa*. Aus: Hedwigia, S. 161–166, 1866. Internetseite: <http://www.asmus.org/memonly/asmnews/au99/fig1f3.htm>.

auskeuchend, in voller »Kampagne« auch an einem zweiten Weihnachtstage, Krickerde!»,<sup>5</sup> Kühl benennt der Wissenschaftler die chemischen Prozesse: „»So ist es nicht unerklärlich, daß beim Wiedereintritt des Wasserleins in deines Vaters Mühlwasser, mein Sohn Ebert, das nützliche Element trotz allem, was es auf seinem Überflutungsgebiete ablagerte, stark gefärbt, im hohen Grade übelriechend bleibt. Das, was ihr in Pfisters Mühle dann, laienhaft erbot, als eine Sünde und Schande, eine Satansbrühe, eine ganz infame Suppe aus des Teufels oder seiner Großmutter Küche bezeichnet, nenne ich ruhig und wissenschaftlich das Produkt der reduzierenden Wirkung der organischen Stoffe auf das gegebene Quantum schwefelsauren Salzes«, sagte Adam Asche.“<sup>6</sup>

## Raabes Quellen

Raabes Beschreibung ist so präzise, dass man sich auch nach heutigen Maßstäben ein genaues Bild von den Zuständen in *Pfisters Mühle* machen kann. Die *Beggiatoa*-Gesellschaft kennzeichnet zusammen mit den Gesellschaften von *Thiotrix nivea* und *Euglena* die  $\beta$ -polysaprobe Zone<sup>7</sup>. *Beggiatoen* sind den Blaualgen nahestehende Fadenbakterien, die weiße Überzüge bilden und oft in Massen auftreten. Sie gehören zu den Schwefelwasserstoff-Oxidanten (Sulfurikanten)<sup>8</sup>. Der Mühlenbach ist durch organische Einleitungen zwar noch stark verunreinigt, aber der Prozeß der Selbstreinigung ist bereits angelaufen. Die Quelle der Verschmutzung muss eine ganze Strecke weiter weg sein: Die Fabrik ist denn auch einige Kilometer entfernt<sup>9</sup>.

Tatsächlich war Braunschweig zu Lebzeiten Raabes zu einem Zentrum der Zuckerindustrie geworden, deren Abwässer die öffentliche Trinkwasserversorgung im Winter 1884/85 zusammenbrechen ließen<sup>10</sup>. Der Autor beschreibt also ein Problem, das er aus eigener Anschauung kennt.

August Thienemann (1882–1960), der die Hydrobiologische Anstalt in Plön von 1916 bis 1956 leitete, weist darauf hin, dass die reale Grundlage des Romans eine Klage zweier Müller aus der Umgebung von Braunschweig gegen die Wasser- und Luftverschmutzung durch Abwässer einer Zuckerfabrik ist. Als Gutachter war damals ein Bekannter Raabes, der Chemiker Heinrich August Beckurts (1855–1929) aufgetreten. Beckurts hatte sich der Mitarbeit des Breslauer Biologen Ferdinand Cohn (1828–1898), des Begründers der systematischen Bakteriologie, versichert. Raabe habe, so Thienemann, Details der Abwasseruntersuchung direkt aus den Prozessakten entnommen. In seinem Drang, das Buch als *Roman der Abwasserbiologie*<sup>11</sup> einzustufen, der nicht nur auf dem Büchertisch des Raabefreundes liegen sollte, sondern auch in die Bibliothek eines jeden Abwasserbiologen und Süßwasserforschers überhaupt gehört<sup>12</sup>, geht er sogar noch einen Schritt weiter und versucht den Nachweis, dass Raabe einige Manuskripte Cohns ausgewertet habe.

Ein Vergleich der Texte ergibt jedoch, dass alle mikrobiologisch relevanten Details aus einem Vortrag von Beckurts stammen. Auch die charakteristischen Schreibungen, die Thienemann

als Beleg für ein Studium von Handschriften wertet, stehen bereits hier. Ein Sonderdruck mit persönlicher Widmung des Verfassers findet sich im Nachlass des Dichters<sup>13</sup>. Darüber hinausgehendes Aktenstudium Raabes wird somit unwahrscheinlich; er plante keinen dokumentarischen Roman. Auch die Beschreibung der mikroskopischen Untersuchung geschieht trotz aller exakter Details nicht um der Mikrobiologie willen. Mit Recht spricht Denkler in seinem Nachwort zur Reclam-Ausgabe von einer polyperspektivischen Erzähl- und Sinnstruktur des Werks<sup>14</sup>. Wo liegt der Fluchtpunkt dieser Perspektiven? Gibt es eine zentrale Metapher, die eine Deutung erlaubt?

### Adam Asche, Alpha und Omega

Der Schlüssel zur Deutung der Erzählung *Pfisters Mühle* liegt meiner Meinung nach in der Wahl des Tages, an dem die mikroskopische Untersuchung des verschmutzten Baches stattfindet. Der alte Pfister lädt seinen Sohn und dessen Mentor Asche auf den 24. Dezember zu sich ein. Der Tag wird jedoch nicht, wie zu erwarten, als *Heiligabend*, sondern nach dem katholischen Namenstags-Kalender mehrfach als *Tag Adams und Evas* angesprochen<sup>15</sup>. Damit gerät die gesamte Handlung in den Kontext der biblischen Erzählung vom Sündenfall im Buch Genesis<sup>16</sup>.

Eberhard Pfister beschreibt die Mühle seines Vaters von Anfang an als *Paradies*<sup>17</sup>, das aber mittlerweile *verwirrt*<sup>18</sup> wurde. Statt des biblischen Cherub steht die Großindustrie vor dem Paradiesestor einer verlorenen Vergangenheit<sup>19</sup>. Asche, Vertreter der Verbindung von Wissenschaft und Großindustrie, heißt nicht zufällig mit Vornamen Adam. Wie sein biblischer Vorfahr hatte er an der Paradieseswelt teil, war aber den Verlockungen der Industrialisierung, der Verheißung eines süßen Lebens – sein Symbol ist nicht mehr die Frucht, sondern der Zucker – erlegen. Auch der neue Adam muss sich zwischen dem Guten und Bösen entscheiden, er wählt egoistisch das Böse. Die positiven Seiten seines Wesens setzt er nicht zu einer Verbesserung des Ganzen ein, sondern zur Schaffung abgeschlossener Kleinidyllen: Er verhilft dem alten Pfister zu einem gewonnenen Prozess, nimmt den entwurzelten Mühlenknecht Samse als Faktotum in sein Haus auf, rettet Albertine, die Tochter des gescheiterten Dichters

Lippoldes durch Heirat vor der Verarmung und liest in seiner Freizeit „so *zwischen* durch im Homer“<sup>20</sup>. Das alles hält ihn nicht ab, als neuer Unternehmer „... *irgendeinen Wasserlauf im idyllischen grünen Deutschen Reich so bald als möglich und so infam als möglich zu verunreinigen...*“<sup>21</sup> und „*ruhig unter den Philistern ... so gemütlich als möglich mit zu schmatzen, zu schlucken, zu prosperieren ...*“<sup>22</sup>.

Doch nicht die biblische Schlange hat ihn verführt, sondern die Wissenschaft. Das Mikroskop ist ihr Symbol. Es liefert Erkenntnisse, deren Objektivität den Wissenschaftler der Pflicht überheben, Stellung zu nehmen und einzugreifen. Er kann die einzelnen Faktoren der Umweltzerstörung vorhersehen, benennen und in ihrer Abfolge auflisten. Sie ethisch zu bewerten oder gar verantwortungsbewusst zu steuern fällt ihm gar nicht ein. Asche lässt es daher nicht nur zu, sondern empfindet es gar für normal, dass das Altbekannte, Erwünschte, hier die Mühlengäste, vom Unerwünschten, den Saprophyten, verdrängt wird<sup>23</sup>. Die Folgen der Entscheidungen von Industriellen, die denken und handeln wie er, bringen Fäulnis in die Paradieseswelt der Mühle, wie die Entscheidung des biblischen Adam den Tod in die Welt brachte. Asche selbst sieht die Entwicklung positiv. Während seine Gefährten entsetzt die gigantische, von Raabe wie ein Spukschloss beschriebene Zuckerfabrik bestaunen, wähnt er die Menschheit geradezu an der Schwelle eines neuen Paradieses. „*»Der reine Zucker!« rief Asche. »Da schwatzen die Narren immerfort über die Bitterkeit der Welt. Da können sie sie niemals süß genug kriegen und da – stehen wir, das Leid der Erde widerkäuend, vor dem neuen Tor.*“<sup>24</sup>. Und er sieht sich schon in der Schar der Aktionäre.

Die übrigen Personen des Romans prosperieren mit an der industriellen Entwicklung wie Riechei, interessieren sich nicht dafür wie des jungen Pfisters Ehefrau Emmy oder sie verschließen die Augen, wie der Erzähler selbst, der „... *sich bescheiden wegduckt und in den Winkel drückt mit seinem Griechischen und Lateinischen, wenn die Tagesherrin, die reale Wissenschaft ... kommt*“<sup>25</sup>. Das Geld aus dem vorteilhaften Verkauf seines Erbes an die Zuckerfabrik hat er freilich genommen und gewinnbringend in Asches Unternehmen angelegt. Die Vergangenheit hat keine Chance mehr.

### Eine Warnung für Heutige

Handelt es sich bei *Pfisters Mühle* um ein Stück larmoyanter Prosa? An dieser Stelle darf man die Aussagen des Erzählers und die Absichten des Autors nicht verwechseln.

Bemerkenswert ist die Ratlosigkeit des Erzählers den Vorgängen gegenüber. Er fühlt sich ihnen ausgeliefert und legt sie ohne rechte Absicht schriftlich nieder, um „... für das nächste Jahrhundert ein wirkliches druck- und kritikgerechtes Schreibekunststück meinen Enkeln im Hausarchive zu hinterlassen“<sup>26</sup>. Raabes Intentionen dagegen gehen weiter. Da er die Paradiesesmetapher konsequent auf das Weltende bezieht, liegt der Schluss nahe, dass er sein Werk nicht nur als Zeitzeugnis, sondern als Auftrag an kommende Generationen verstanden wissen will. Er weist nämlich klar darauf hin, dass der zweite Sündenfall ebenso wie der biblische der Anfang eines Weltuntergangs ist. Markiert der Vorname Asches den Beginn einer negativen Entwicklung, so prophezeit sein Nachname deren Ende: Das göttliche Strafgericht, das über die Welt kommen wird. Nach der biblischen Überlieferung wird die Welt am letzten Tag in Asche zerfallen. Belegt wird diese Linie durch das geradezu expressionistische Untergangsszenario, das der betrunkene Lippoldes am Christtagsabend vor der erschrockenen Familie ausbreitet:

„Einst kommt die Stunde – denkt nicht, sie sei ferne –,

Da fallen vom Himmel die goldenen Sterne,

Da wird gefegt das alte Haus,

Da wird gekehrt der Plunder aus...“<sup>27</sup>

Damit erhält der Roman Verweisungscharakter. Zeichen- und modellhaft beschreibt er den Beginn einer Entwicklung und benennt zugleich deren Ende. Er zeigt schon durch seine Form<sup>28</sup> auf, wie hilflos eine betroffene Generation auf die *industrielle Blüte*, den *nationalen Wohlstand* reagiert, obwohl sie das negative Ende ahnt. Ist Rückzug, ironische Distanz oder aktive Beteiligung am kapitalistischen Wirtschaftssystem richtig? Wer übernimmt die Verantwortung für die Zukunft?

Der Text ist also aktueller denn je. Seine Parallelen zur Entwicklung unserer modernen Konsumgesellschaft, der Energiewirtschaft und der Gentechnologie und dem Verhalten unserer Generation sind unübersehbar. Raabe weist uns auf ein Grundmuster menschlichen Verhaltens hin: Wenn wir zwischen dem gegenwärtigen

Gewinn und dem Elend künftiger Generationen zu wählen haben, entscheiden wir uns trotz aller Warnungen stets egoistisch.

### Dank

Ich bedanke mich herzlich bei Frau Dr. Gabriele Henkel, Stadtbibliothek Braunschweig, und Herrn Nickel, Stadtarchiv Braunschweig, für die Bereitstellung von Abbildungen.

### Anmerkungen

- <sup>1</sup> S. 92
- <sup>2</sup> S. 93
- <sup>3</sup> S. 93 f.
- <sup>4</sup> S. 102
- <sup>5</sup> S. 103
- <sup>6</sup> S. 103
- <sup>7</sup> Schwoerbel S. 147
- <sup>8</sup> Schwoerbel S. 124
- <sup>9</sup> S. 103
- <sup>10</sup> S. 235
- <sup>11</sup> Thienemann: „Pfisters Mühle“, S. 316
- <sup>12</sup> Thienemann: Wilhelm Raabe und die Abwasserbiologie, S. 130
- <sup>13</sup> Denkler; Anm. 30
- <sup>14</sup> Denkler, S. 232 f
- <sup>15</sup> S. 65 Überschrift zum zehnten Blatt
- <sup>16</sup> S. 74
- <sup>17</sup> S. 65
- <sup>18</sup> S. 75
- <sup>19</sup> S. 143: „Es tut uns wirklich sehr leid, die Frau Doktor nunmehr aus ihrer hiesigen, hoffentlich recht heitern Dorfgeschichte mit feurigem Schwert vertreiben zu müssen.“
- <sup>20</sup> S. 188
- <sup>21</sup> S. 69
- <sup>22</sup> S. 98
- <sup>23</sup> S. 94
- <sup>24</sup> S. 103
- <sup>25</sup> S. 77
- <sup>26</sup> S. 172
- <sup>27</sup> S. 88 und 89
- <sup>28</sup> „... und der bitterste Ernst wird sich auch auf diesen letzten Blättern in die seltsame Form finden müssen, welche ihm nur eine solche Sommerfrische geben konnte.“ (S. 159)

### Literaturhinweise

1. Zitierte Ausgabe  
Raabe, Wilhelm: Pfisters Mühle. Ein Sommerferienheft. Reclam-Verlag, Stuttgart 1980. Alle Seitenangaben in meiner Arbeit beziehen sich auf diese Ausgabe. Den Text dieser Ausgabe findet man auch im Internet unter <http://www.gutenberg.aol.de/raabe/pfister>
2. Sekundärliteratur  
Beckurts, H.: Ueber die Verunreinigung der Flüsse durch Effluven von Zuckerfabriken. Vortrag, gehalten in der V. Versammlung des Vereins gegen Verunreinigung der Flüsse, des Bodens und der Luft am 18. und 19. October 1892 in Braun-

- schweig. Monatsblatt für öffentliche Gesundheitspflege Nr. 11 und 12, 161–173 (1882).
- Denkler, H.: Nachwort zur zitierten Reclam-Textausgabe. Seite 225–251.
- Drews, G.: Ferdinand Cohn, a founder of modern microbiology. *ASM News* 65, 1999. Internetseite <http://www.asmtusa.org/memonly/asmnews/aug99/feature3.html>.
- Hädecke, W.: Hortus amoenus, oder: Das Ende von Pfisters Mühle. In: W. Hädecke: *Poeten und Maschinen. Deutsche Dichter als Zeugen der Industrialisierung*, S. 336–351. Carl Hanser Verlag, München und Wien 1993.
- Oppermann, H.: *Wilhelm Raabe mit Selbstzeugnissen und Bilddokumenten*. Rowohlt-Verlag, Hamburg 2001.
- Schwoerbel, J.: *Einführung in die Limnologie*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1977.
- Thienemann, A.: Wilhelm Raabe und die Abwasserbiologie. *Mitteilungen der Gesellschaft der Freunde Wilhelm Raabes* 4, 24–31 (1925).
- Thienemann, A.: „Pfisters Mühle“. Ein Kapitel aus der Geschichte der Biologischen Wasseranalyse. *Verhandlungen des Naturhistorischen Vereins des preußischen Rheinlandes und Westfalens* 82, 315–329 (1925).

*Verfasser:* Rainer Hendel, OStD i.K., Christian-von-Bomhard-Schule, Im Krämersgarten 10, D-97215 Uffenheim

## Nachricht

### Internationales Symposium „Wasser und Wasser-Alchemie“

Gerade in diesem Jahr, das von der UNESCO zum *Year of the fresh water* erklärt wurde, hat das Thema Wasser einen internationalen Stellenwert. Die ACADEMIA HERMETICA in Lautertal/Vogelsberg hat in diesem Zusammenhang eine Aktion geplant, in die viele Länder dieser Erde einbezogen wurden, und die auf dem Internationalen Symposium innerhalb des Schwerpunktthemas *Wasser-Alchemie* seinen Höhepunkt finden wird.

Vom 20.–22. Juni 2003 wird unter der Leitung von Professor Manfred Junius aus Australien das dreitägige Symposium zum Thema *Wasser und Wasser-Alchemie* in Bad Salzschlirf/Oberhessen stattfinden. Internationale Referenten werden zu den Themen Wasser-Alchemie, Wasser-Forschung, Wasser-Energetisierung, Wasser-Kristalle, Wasser und Salz und weiteren interessanten Aspekten zum großen Thema Wasser und Salz in diesem Symposium neueste Erkenntnisse vermitteln.

Was ist Wasser-Alchemie? Nach Ansicht der Alchemisten gibt es verschiedene Arten von destilliertem Wasser. Während der Destillation teilt es sich in die vier Elemente, und es entstehen die vier verschiedenen Wässer. Jedes Element kann wiederum in seine drei Essentialen, also die drei philosophischen Prinzipien zerlegt werden. Das Ziel ist der *Archaeus des Wassers*, der in der Spagyrik als Heilmittel *Wasser des Lebens* und als Zutat für weitere alchemistische Rezepturen eingesetzt wird.

Diese spannenden Arbeiten mit verschiedenen Wässern wie Gewitterwasser, Gletscherwasser oder Salzwasser werden in Vorträgen und Labor-Workshops dargestellt und erarbeitet.

#### Themen und Referenten

- Wasser-Alchemie (Prof. Manfred Junius, Australien)
- Der Mensch – Ein flüssiger Kristall (Manuela Binek, Deutschland)
- Der Amazonas – Der größte Strom der Erde (Barbara Schmal, Brasilien)
- Wasser-Klang-Bilder (Alexander Lauterwasser, Deutschland)
- Formenvielfalt aus gefrorenem Wasser – Wasser-Kristallbilder, Wasser und Salz – Grundlagen des Lebens (Edelgard Scheepers, Deutschland)
- Was ist Energie – Das Energiefeld des Wassers (Joachim Letschert)

Ein umfangreiches Rahmenprogramm begleitet das Symposium:

Freitagabend: *Klangminiaturen über Wasser*, Wasser-Spiele im Kurpark Bad Salzschlirf.

Samstagabend: Modenschau *Zauberhafte Planetenreise*; Konzert *Von Musical bis Classic*; in der Wandelhalle Bad Salzschlirf: *Wasser-Impressionen*; im historischen Badehof: geführte Besichtigungen.

Vor der Wandelhalle finden Sie Aussteller zu den Themen Wasser und Salz und vieles andere.

Informationen und Anmeldung:

ACADEMIA HERMETICA, Sigrun Scherneck, Lanzenhainer Str. 5, D-36369 Lautertal, Tel. 066 43/91 86 82, Fax: 066 43/91 86 83, e-mail: [webmaster@academia-hermetica.com](mailto:webmaster@academia-hermetica.com), Internet: [www.academia-hermetica.com](http://www.academia-hermetica.com).

## Mikro-Einsteiger

# Kleines Algenpraktikum

Rudolf Drews

**Wer sein Hobby Mikroskopieren mit selbst gestellten Aufgaben verknüpft, vertreibt sich nicht die Zeit, sondern das Gegenteil tritt ein: Er wird in Zeitnot geraten, weil immer neue interessante Fragen auftauchen, denen nachzugehen es sich lohnt. So auch bei der Beschäftigung mit den mikroskopischen pflanzlichen Kleinodien Algen.**

**E**in Algenpraktikum in einer Zeitschrift unterzubringen, mag befremden, wenn man den Umfang naturwissenschaftlicher Praktika im Sinne hat. Jedoch reichen durchaus einige Druckseiten, um grundlegende praktische Anleitungen für das Sammeln, Untersuchen, Kultivieren und Präparieren zu geben.

### Materialbeschaffung

Sammelzeit sind Frühjahr und Sommer, denn dann gibt es genug Licht für die Photosynthese betreibenden Organismen. Manche Algen wachsen bereits bei einigen Grad über Null, und nicht selten begegnet man im Frühjahr Tümpeln mit frischen grünen Algenwatten unter einer dünnen, nachts entstandenen Eiskecke. Zu fortgeschrittener Jahreszeit mit höheren Wassertemperaturen verschwinden die Arten, die kühles Wasser lieben, und machen anderen Platz. Gräben, Tümpel, Teich- und Seeufer, Steine und Wurzeln im Fließgewässer sind Orte, wo wir mit der Hand oder der Pinzette Algenfäden einsammeln oder abzupfen können und in das dafür vorgesehene Gefäß bringen. Das freie Wasser von Seen und Teichen beherbergt mikroskopische Planktonalgen, die wir mit dem Planktonnetz erbeuten. Auch die feuchte Bodenoberfläche oder Baumrinde sowie das von Rinnsalen überrieselte Gestein im Bergland sind Fundorte mancher Algenart.

Nasse Torfmoose beherbergen oft Zieralgen (Desmidiaceae), die einer besonderen Präparation bedürfen. Kieselalgen sind nicht Thema dieses Praktikums. Für die Lebenduntersuchung werden die Algen zusammen mit Fund-

ortwasser in einer Thermosflasche oder, wenn man mehrere voneinander getrennte Proben hat, in einer Kühlbox transportiert, sofern nicht an Ort und Stelle fixiert wird. Aber auch in diesem Fall sollte man Lebendmaterial mitnehmen, um es später bei der Artbestimmung leichter zu haben.

### Untersuchung lebender Grünalgen

Sofern man nicht schon am Fundort außer der Temperaturmessung weitere ökologisch bedeutsame Parameter (beispielsweise pH-Wert, Wasserhärte, Phosphatkonzentration) bestimmt hat, kann das mit in hinreichender Menge (ca. 1 Liter) mitgeführtem und dabei gekühltem Fundortwasser im Heimlabor geschehen. Für derartige Untersuchungen gibt es einfach zu handhabende und im Lehrmittelhandel erhältliche Testsätze.

Das eigentliche Anliegen des Mikroskopikers sind jedoch Beobachtung und Untersuchung von Form und Inhalt der Algenzellen. So wird daheim zunächst die Probe in ein Glasgefäß überführt, aus dem dann das Objekt mit der Pinzette oder Pipette entnommen wird. Das Gefäß wird, mit einem losen Deckel versehen, für spätere Probenentnahmen an einem Nordfenster deponiert.

Unter Zuhilfenahme geeigneter Bücher (siehe Literaturhinweise) sollte zunächst eine Gattungs-, dann eine Artbestimmung versucht werden. Zwangsläufig wird man dabei auf die morphologischen Eigenschaften der Zelle und des Zellinhaltes stoßen. Von besonderem Interesse sind dabei Form und Anzahl der Chloroplasten und Pyrenoide (Stärkeherde, Abb. 1),

das Vorkommen von Stärke, Ort, Größe und möglicherweise Anzahl der Zellkerne und Anzahl der Zellen im Falle eines Zellverbandes. Stärke und Kern können mit Lugol'scher Lösung, wovon man einen Tropfen unter das Deckglas fließen lässt, gut sichtbar gemacht werden (Stärke blau, Kern gelbbraun, Abb. 2). Algen eignen sich – sofern es sich nicht um tangähnliche Formen handelt – hervorragend zur mikroskopischen Beobachtung. Sie sind klein, dünn und damit transparent. Viele Grünalgen sind ein- oder wenigzellig. So können wir leicht Einblick in eine lebende Pflanzenzelle gewinnen, ohne umständliche Präparationen vornehmen zu müssen. Wie viele Zellen höherer Pflanzen sind auch Algenzellen oft vakuolisiert und haben wandständige Chloroplasten. Algenchloroplasten erreichen manchmal ungewöhnliche Größen, so dass sich in der Zelle nur ein oder zwei Chloroplasten befinden. Die Vakuolen mancher Algen (*Tribonema*, *Closterium*) enthalten zahlreiche Gipskristalle, die sich in zitternder Bewegung befinden (Brown'sche Molekularbewegung). Die Vakuole der Schraubenalge *Spirogyra* ist so groß, dass der Kern mit wenig Plasma in der Zellmitte an einigen Plasmafäden aufgehängt erscheint (Abb. 4), an denen

man bisweilen lebhaft Plasmaströmung erkennen kann. Neben der Zellgröße (Länge, Breite), bei deren Bestimmung das Messokular zum Einsatz kommt, dienen die Zellform und die Anzahl der Pyrenoide (Abb. 1) der taxonomischen Zuordnung. Auch das Vorkommen von Öltropfen in der Zelle (Nachweis durch Anfärbung mit Sudan III oder IV) ist ein wichtiger Hinweis auf die Gruppenzugehörigkeit. Die Zellwände mancher Algen bestehen aus H-förmigen Stücken (*Oedogonium*). Submikroskopische Paralleltexur der Zelluloseeinheiten machen die Zellwand doppelbrechend und lassen diese im polarisierten Licht aufleuchten.

### Wir kultivieren Algen

Algenkulturen eröffnen uns Einsichten in die Abhängigkeit des Wachstums, der Ausbildung der Zellbestandteile sowie der Fortpflanzung von den Faktoren Licht, Temperatur und Nährstoffe. Die Wasseranalyse des Algenfundortes, für die einfach zu handhabende Testsätze erhältlich sind, gibt bereits erste Hinweise darauf, in welchem Milieu sich die gesammelten Algen wohlfühlen.

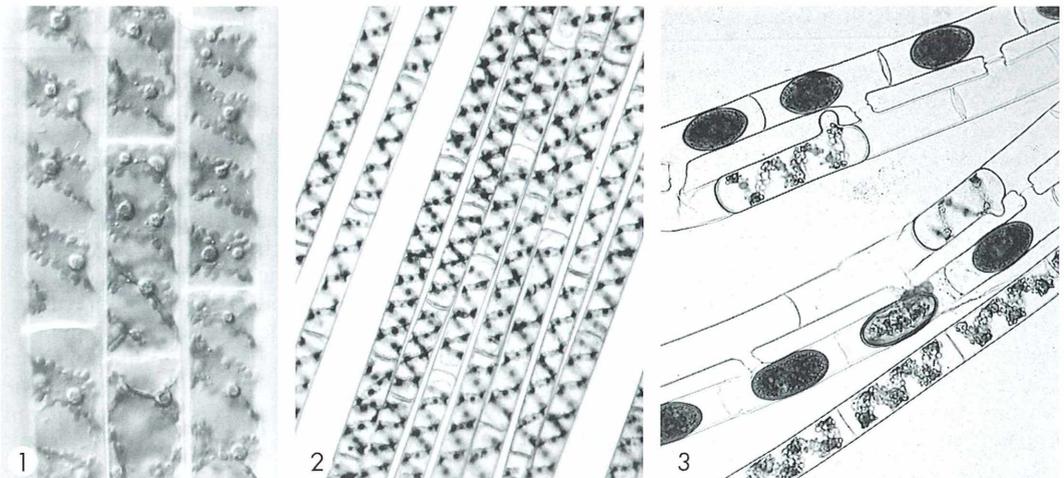


Abb. 1: Zellen von *Spirogyra* (Schraubenalge) mit bandförmigen Chloroplasten (einer pro Zelle). Die knopfartigen Strukturen im Chloroplasten sind Pyrenoide, in deren Bereich Stärke abgelagert wird und die algentypisch sind. Lebendaufnahme. Vergr.: 250 $\times$ . – Abb. 2: Infolge der Stärkekonzentration an den Pyrenoiden lassen sich diese mit Lugol'scher Lösung (Jod-Kaliumjodid-Lösung) dunkel hervorheben. Vergr.: 100 $\times$ . – Abb. 3: Konjugation und Dauersporenbildung von *Spirogyra*. Die Dauersporen entsprechen Zygoten, welche durch Zellverschmelzung benachbarter verschiedengeschlechtlicher Fäden entstehen. Lebendaufnahme. Vergr.: 100 $\times$ .

So bietet sich zuerst das Fundortwasser als natürliches Kulturmedium an. Damit es möglichst bakterien- und fremdalgenfrei ist, muss man es sterilfiltrieren. Zur Not kann man sich auch mit einer Filtration durch normales Filterpapier zufrieden geben. Das Kulturmedium sollte mindestens einmal pro Woche gewechselt werden, so dass sich die zu kultivierenden Algen immer in einer sauberen, das heißt pilz-, bakterien- und fremdalgen-armen Nährlösung befinden. Die Zugabe eines Antibiotikums (beispielsweise Streptomycin) und von Nipagin verhindert zwar Bakterien- und Pilzwachstum, stellt aber doch eine einschneidende stoffliche Veränderung der Kulturflüssigkeit dar, die möglicherweise auch das Wachstum der zu untersuchenden Algenart beeinträchtigt. Ein Kellerraum bietet die weitgehend gleichbleibende Temperatur von unter 20 °C, wie es bei Algenkulturen erwünscht ist.

Als Kulturgefäß ist eine Petrischale geeignet, die mindestens 20 ccm Kulturmedium aufnehmen kann. Für vergleichende Untersuchungen sollte man einen Satz von 10 bis 20 Petrischalen (Glas oder Kunststoff; Kunststoff ist schwerer zu reinigen) zur Verfügung haben. Die zu kultivierende Algenart wird aus dem Glasgefäß, das die gesammelte Algenprobe enthält, mit der Pipette oder der Pinzette herausgelesen und zweimal in Kulturlösung gewaschen, bevor man sie in das Kulturgefäß überführt. Das Kulturgefäß stellt man zugedeckt entweder wieder an das Nordfenster oder besser, da kontrollier- und variierbar, im kühlen Kellerraum unter Kunstlicht (Leuchtstoffröhre im Abstand von ca. 30 cm). Das hat den Vorteil, dass man per Schaltuhr Tag und Nacht simulieren und die Lichtmenge variieren kann.

Die Qualität des Fundortwassers als Kulturmedium lässt sich optimieren, indem man pro Ansatz einige Tropfen einer filtrierten Bodenabkochung (nicht von frischem Humus) hinzufügt. Für die Algenkultur im Labor sind je nach den Ansprüchen der betreffenden Algenarten künstliche Nährmedien entwickelt worden. Hier seien einige Rezepte genannt:

#### 1. Nährlösung nach Knop (aus Klotter, 1957)

Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4 H <sub>2</sub> O	1,00 g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,25 g
MgSO <sub>4</sub> · 7 H <sub>2</sub> O	0,25 g
FeCl <sub>3</sub> · 6 H <sub>2</sub> O	Spur

Die Substanzen werden nacheinander in 1.000 ml Aqua dest. gelöst.

#### 2. Medium Nr. 10 von Chu (nach Schwoerbel, 1986)

Aqua dest.	999 ml
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	40 mg
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	10 mg
MgSO <sub>4</sub> · 4 H <sub>2</sub> O	25 mg
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	20 mg
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	25 mg
FeCl <sub>3</sub> · 6 H <sub>2</sub> O	8 mg

Zugabe von Spurenelementlösung aus dem Gartenfachhandel (Blumendünger).

Viele weitere Rezepte für Nährlösungen, auch solche, die für bestimmte Algenarten entwickelt wurden, sind in Esser (1980), Pringsheim (1954) und der *List of strains* (1982) zusammengestellt. Aus wägetechnischen Gründen ist es meistens angebracht, die 10fache Menge der Komponenten in einem Liter aufzulösen und dann diese Stammlösung für den Gebrauch entsprechend zu verdünnen. Die Stammlösung kann man kühl und dunkel über viele Monate aufbewahren, was ebenso für die Erdabkochung gilt. Man sollte sie grundsätzlich synthetischen Nährmedien zusetzen, da sie sowohl als Puffer als auch als Lieferant von Spurenelementen dient. Es ist auch möglich, Algen in einem sterilisierten Erd-Wasser-Ansatz (Erde als ca. 2 cm hoher Bodensatz) zu züchten. Nachteilig sind dabei die mögliche Verwirbelung des Bodensatzes bei der Algenentnahme sowie die erschwerte Sichtkontrolle insbesondere einzelliger Formen. Wem die Zusammenstellung synthetischer Nährmedien zu umständlich ist, kann Kulturansätze mit im Handel erhältlichem Flüssigdünger für Hydrokulturen probieren. Hierbei ist es natürlich nicht möglich, Experimente zum Nährstoffbedarf der Algen durchzuführen. Jedoch können die Nährlösungskonzentration und Zusätze (Urin, Guano-Abkochung, Torfextrakt) variiert und deren Wirkung auf das Gedeihen der Algen geprüft werden. Viele Algen wachsen optimal nur bei einem bestimmten pH-Wert (Säuregrad). Die synthetischen Nährlösungen berücksichtigen im allgemeinen diese Ansprüche. Viele Zieralgen jedoch bevorzugen ein saures Milieu. Andere Algen lieben es eher neutral.

Um Algenwachstum beurteilen zu können, bedarf es eines Maßstabes. Bei fädigen Algen ist das kein Problem. Man misst einfach den Längenzuwachs eines Fadenstückchens pro Zeiteinheit. Schwieriger wird das schon bei einzelligen Algen oder Kolonien. Hier ist es günstiger, die zahlenmäßige Zunahme der Einzelzellen be-

ziehungsweise der Kolonien festzustellen, was sich leicht bewerkstelligen lässt, wenn man den Ansatz mit nur wenigen Zellen beimpft.

Beim Experimentieren mit einzelligen Algen oder Kolonien kann das Wachstum (= die Massenzunahme) auch indirekt auf dem Wege der Extinktionsmessung (Lichtauslöschung) mit Hilfe eines Photometers bestimmt werden, wobei man beispielsweise in einem Erlenmeyerkolben eine Algensuspension heranzieht, mit der man die Photometerküvette befüllt.

Um herauszufinden, in welchen Nährböden eine bestimmte Alge am besten wächst, gibt es zwei Wege: Der erste bereits genannte lässt eine bestimmte Alge in verschiedenen Nährlösungen wachsen. Der zweite Weg geht von einer Ansammlung verschiedener Algen (Aufwuchs oder Detritus) aus und untersucht, welche Algenart sich in einem bestimmten Nährmedium durchsetzt. Dafür sollte der Ansatz mindestens drei Wochen unverändert stehen.

Hat man für eine Alge erst einmal das geeignete Medium gefunden, kann man sich an weitere Experimente machen. Hierzu stehen als variable Faktoren zur Verfügung: Konzentration des Mediums, Konzentration der Bestandteile, Konzentration der Zusätze (Torf-, Erd-, Gua-

noabkochung, Urin, Hefeextrakt) und schließlich Intensität, Dauer und Lichtqualität (Filter) der Beleuchtung.

Die Algen könnten unter den Arbeits- und Gerätevoraussetzungen, die einem Hobby-Algologen zur Verfügung stehen, mit folgenden Fragestellungen untersucht werden (vergleiche auch Abb. 1, 3 und 7).

Welche Faktoren bestimmen

- das Wachstum,
- die mehr oder minder ausgeprägte Grünfärbung der Chloroplasten,
- den Stärke- beziehungsweise Ölanteil,
- die Vakuolenfüllung mit Kristallen,
- die Teilungsrate?

Schließlich: Unter welchen Bedingungen kommt es zur Bildung von Sporen (Rohrzucker soll auslösend wirken, aber auch Wärme, Abb. 3)?

### Algen-Dauerpräparate

Wegen ihrer oft geringen Größe und Transparenz sind Algen für Totalpräparate gut geeignet. Andererseits verlangt ihre zarte Beschaffenheit sehr vorsichtiges Entwässern und Überführen in das Einbettungsmittel, damit keine

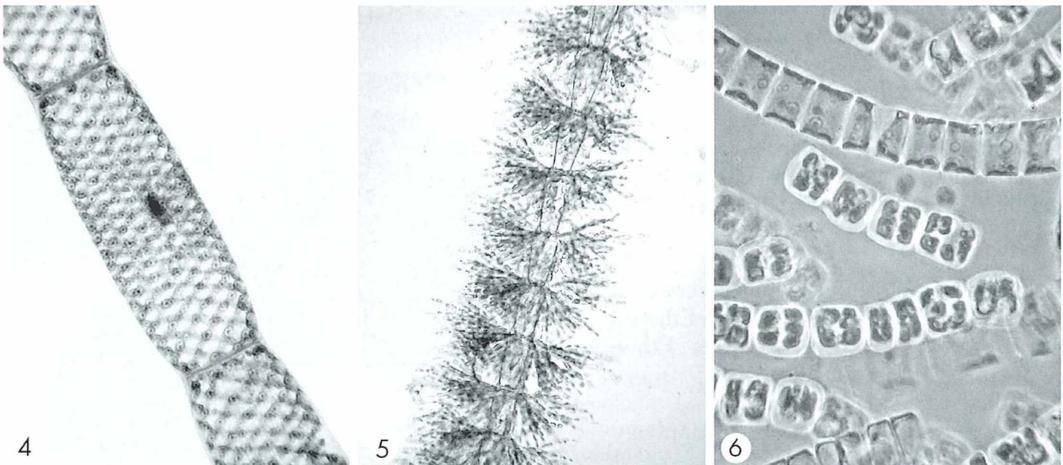


Abb. 4: Glyzerinpräparat einer großzelligen *Spirogyra*-Art. Das Netzmuster entsteht durch Überlagerung des eng spiralisierten Chloroplasten. Der Zellkern ist mit wenig Plasma an einigen dünnen Plasmafäden in der großen Zentralvakuole aufgehängt. Alizarinviridin-Färbung. Vergr.: 200 $\times$ . – Abb. 5: Froschlaichalge (*Batrachospermum*), eine der wenigen Rotalgen des Süßwassers. Alizarinviridin, Glyzeringelatine. Vergr.: 100 $\times$ . – Abb. 6: *Ulothrix zonata*, eine Grünalge. Einige Fadenzellen sind zu Sporangien entwickelt, in denen die Sporen zu erkennen sind. Anilinblau, Euparal. Phasenkontrast. Vergr.: 250 $\times$ .

formzerstörenden Schrumpfungen infolge osmotischer Vorgänge die Folge sind. Die Handhabung der Algen im Verlauf der Fixierung bis zur Einbettung verläuft unterschiedlich, je nachdem ob man es mit fädigen oder einzelligen Formen zu tun hat. Für die Arbeitsgänge mit fädigen Algen sollten die Fäden in kürzere und gut zu handhabende Stücke geschnitten werden. Für die Überführung in die verschiedenen Präparationsmedien benutzt man eine Nadel oder besser eine Federstahlpinzette. Einzelige Formen lässt man entweder im Gefäß und pipettiert die benötigten Lösungen, oder man saugt die Zellen vom Gefäßgrund ab und pipettiert sie in das jeweils folgende Präparationsmedium.

Ein fast universell verwendbares Fixiermittel ist das Pfeiffer'sche Gemisch. Es besteht aus einer Mischung von 40%igem Methanal (Formaldehyd), gereinigtem Holzessig und Methanol im Verhältnis 1:1:1. Die Fixierzeit beträgt 12–24 Stunden; eine Aufbewahrung im Fixiermittel ist bis zu mehreren Wochen möglich. Ein für Algen bewährtes Fixiermittel ist auch Chromessigsäure.

Nach mehrmaligem gründlichen Wässern kann die einfach durchzuführende Färbung in (käuflicher) Alizarinviridin-Chromalaun-Lösung nach Becher erfolgen. Das zu färbende Objekt bleibt mehrere Stunden in der unverdünnten Färbelösung; eine Überfärbung ist nicht möglich. Im Gegenteil: Wegen eines geringen Ausbleichens in Glycerin oder Glyceringelatine ist eine Farbstabilisierung durch 10minütiges Verweilen in 5%iger Kobaltchloridlösung (notfalls Kupfersulfatlösung) zu empfehlen. Ein schönes Ergebnis liefert die Anilinblau/Erythrosin-Doppelfärbung.

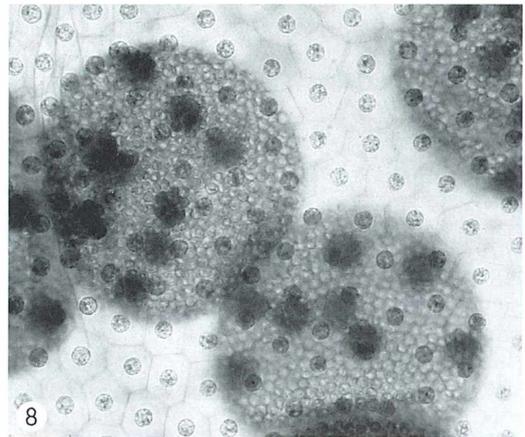
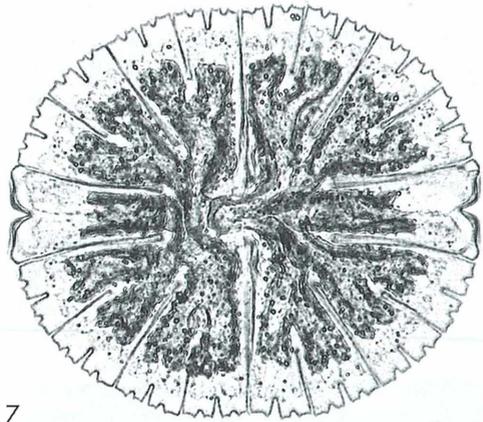
Folgende Färbelösungen sind zu verwenden:  
Erythrosin (gesättigt in 85%igem Ethanol)

- Färbelösung: 5 ccm 90%iges Ethanol, 2 Tropfen Erythrosinlösung
- Färbedauer: 3–6 Stunden
- Kurz mit 90%igem Alkohol abspülen

Anilinblau, wasserlöslich (in 80%igem Ethanol gesättigte Lösung)

- Färbelösung: 5 ccm Ethanol, 1 Tropfen Essigsäure, 2 Tropfen Anilinblau-Lösung. Färbzeit 1–10 min
- Differenzieren in 0,25% HCl-Alkohol (kurz)
- Abspülen in neutralem Ethanol. Einbetten in Euparal

Die in Alizarinviridin gefärbten Objekte können ebenfalls in Euparal eingebettet werden, nachdem sie die Alkoholreihe durchlaufen haben. Einfacher ist es hier jedoch, aus der wässrigen Phase in Glycerin zu überführen. Bei Objekten mit Schleim oder Gallerte empfiehlt sich eine Kontrastfärbung mit 10%iger wässriger Muzikarmin-Lösung (2–12 h). Die Überführung in das Einbettungsmittel muss in jedem Fall sehr langsam erfolgen, am besten durch Eindunsten einer stark verdünnten Mischung von Wasser/Glycerin beziehungsweise Alkohol/Euparal an einem staubgeschützten Ort.



**Abb. 7:** *Micrasterias*, eine Zieralge (Desmidiacee); dunkel: Chloroplasten. Alizarinviridin/Muzikarmin, Glycerin. Vergr.: 250 $\times$ . – **Abb. 8:** *Volvox* (Kugelalge), Ausschnitt mit Tochter- und Enkelkolonien. Anilinblau/Muzikarmin, Glycerin. Vergr.: 200 $\times$ .

Glyzerin- und Glyzeringelatine-Präparate müssen mit Lack oder Kanadabalsam abgeschlossen werden. Praktisch ist die Sandwichmethode: Ein größeres Deckglas wird als Objektträger benutzt, auf welches man das Objekt und einen kleinen Tropfen des Einschlussmittels bringt. Nun wird ein viel kleineres und auch dünneres Deckglas aufgelegt und das große Deckglas umgedreht auf den Objektträger mit einem Tropfen Kanadabalsam gelegt. Wichtig ist, dass das Glyzerin nicht über den Deckglasrand des kleineren Deckgläschens quillt. Glyzerinpräparate müssen horizontal gelagert werden. Die Abbildungen 4 bis 8 zeigen Beispiele unterschiedlich angefertigter Dauerpräparate.

### Literaturhinweise

- Dillard, G. E.: Common freshwater algae of the United States. J. Cramer, Berlin 1999.
- Esser, K.: Kryptogamen. Springer Verlag, Berlin 1980.
- Ettl, H.: Grundriß der allgemeinen Algologie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1980.
- Fott, B.: Algenkunde. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1971.
- Gams, H.: Kleine Kryptogamenflora, Bd. 1a. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1969.
- Hoeck, C. van den: Algen. Thieme Verlag, Stuttgart 1978.
- Klotter, H.-E.: Grünalgen. Kosmos-Verlag, Stuttgart 1957.
- Lenzenweger, R.: Desmidiaceenflora von Österreich, 1.–3. Teil. J. Cramer, Stuttgart 1996 (Teil 1), 1997 (Teil 2), 1999 (Teil 3).
- List of Strains, Sammlung von Algenkulturen. Sonderdruck der Ber. Deutsch. Bot. Ges. 95, 181–276 (1982).
- Nultsch, W.: Allgemeine Botanik. Thieme Verlag, Stuttgart 2001.
- Pringsheim, E. G.: Algenkulturen. Gustav Fischer Verlag, Jena 1954.
- Schömmel, F.: Kryptogamen-Praktikum. Frankh'sche Verlagshandlung, Stuttgart 1949.
- Schwoerbel, J.: Methoden der Hydrobiologie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1986.
- Täuscher, L.: Algenesellschaften als Indikatoren der Gewässerergüte der kleinen Berliner Fließgewässer Panke und Wuhle. *Lauterbornia* 14, 23–30 (1993).

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

## Buchbesprechungen

Tallack, P. (Hrsg.): *Meilensteine der Wissenschaft. Eine Zeitreise*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2002, 528 Seiten, 350 meist farbige Abbildungen, gebunden, € 49,95 ISBN 3-8274-1380-X.

Dieses großformatige (30 × 26 cm) Buch zur Wissenschaftsgeschichte beschreibt und illustriert auf verständliche, unterhaltsame Weise 250 ausgewählte Errungenschaften der Menschheit. Ein Spektrum quer durch die Naturwissenschaften wird geboten: Entdeckungen und Erfindungen aus der Biologie (Frühe Menschen, Stoffwechsel, Instinkt und Verhalten, Gentechnik, Klonschaf Dolly), Medizin (Entdeckung von Krankheitserregern wie Malaria-

Erreger und Viren, Entwicklung von Medikamenten und Impfungen), Physik (Atommodelle, Welle-Teilchen-Dualismus), Astronomie/Kosmologie (Planetentdeckung, Theorien zur Entstehung des Universums, Sonnenflecken), Mathematik (Chaos-theorie), Meteorologie (Ozonloch, Treibhauseffekt, Wettervorhersagen), Chemie (Periodensystem, Benzolring) und Geologie (Plattentektonik, Vulkanismus, Fossilien). Dabei wird chronologisch ein Zeitraum von 35.000 Jahren vor Christus bis in die Jetztzeit überspannt. Der immer schnellere Zuwachs an Wissen und seine Bedeutung für unser alltägliches Leben und unser Weltbild wird eindrücklich vermittelt. Auch für den Laien spannend zu lesen, kann man an der Entwick-

lung oder Entdeckung der unterschiedlichsten *Meilensteine der Wissenschaft* teilhaben. Jedes Ereignis wird jeweils auf der linken Buchseite (mit zahlreichen Querverweisen) vorgestellt und auf der rechten Seite mit einer ganzseitigen Abbildung großzügig illustriert. Allein schon das Stöbern in den hervorragenden, technisch sehr unterschiedlich gestalteten Bildern macht sehr viel Spaß und erweckt ein derartiges Interesse an den Hintergründen, dass man kaum umhin kann, nicht auch die dazugehörigen Erläuterungen zu lesen.

Fazit: Ein eindrucksvolles Sachbuch, das man durchaus lieben Freunden schenken kann.

Renate Radek, Berlin

**Bremer, H.: Handbuch Mikroskopie und Fotografie am Aquarium.** Bede Verlag, Ruhmannsfelden 2002, 144 Seiten, € 22,80, ISBN 3-8986-0020-3.

Aquarien sind ein beliebtes und weit verbreitetes Hobby. Als in sich geschlossene Lebensräume bieten sie fast grenzenlose Gestaltungsmöglichkeiten, die immer wieder neue Beobachtungen und Entdeckungen erlauben. Das Augenmerk des Aquarianers ist dabei aber praktisch ausschließlich auf die Tier- und Pflanzenwelt unter Wasser gerichtet. Das Handbuch *Mikroskopie und Fotografie am Aquarium* will den Freunden der nassen Welt eine neue Dimension erschließen. Als eigenständiges Ökosystem entwickelt ein Aquarium unabwendbar ein mikrobielles Eigenleben, das dem makroskopischen in seiner Reichhaltigkeit und Schönheit in nichts nachsteht. Heinz Bremer beschreibt in seinem qualitativ hochwertig gemachten Buch, was mit einfachen technischen Mitteln für jeden Aquarianer beobachtbar ist. Das Werk ist durchgehend farbig bebildert, die Bilder selbst sind von sehr guter bis exzellenter Qualität. Das *Handbuch Mikro-*

*skopie und Fotografie am Aquarium* ist kein Buch zum Lesen, sondern eines zum Mitmachen. Im Vordergrund steht klar die Praxis. Der schnörkellose, manchmal fast lakonische Text enthält eine Fülle konkreter Tipps und Anweisungen zur Durchführung eigener Beobachtungen und Experimente. Hier und da würde man sich vielleicht ein Protokoll in übersichtlicher Tabellenform oder in Form einer grafischen Übersicht wünschen, wie dies für die Eigenschaften verschiedener Mikroskoptypen und das korrekte Einstellen der Mikroskopbeleuchtung geschehen ist. Auf die Aufnahme komplizierter Prozeduren und Färbetechniken, die nur mit spezieller Ausrüstung und entsprechender Übung durchzuführen sind, wurde verständlicherweise verzichtet. Einfache Anfärbungen, die leicht und ohne den Einsatz besonders giftiger Chemikalien ausgeführt werden können, wurden jedoch aufgenommen und nachvollziehbar beschrieben. Zwei Drittel des Buches sind der Mikroskopie gewidmet, das verbleibende Drittel gehört der Fotografie. Natürlich lässt sich das eine mit dem anderen verbinden, wenn auch die Mikrofotografie eine schwierige Disziplin ist, die

mit nicht-professioneller Technik nur unter sehr glücklichen Umständen befriedigende Ergebnisse zeitigen wird. Auch in diesem Teil finden sich viele nützliche, sehr konkrete Ratschläge. Ob die praktisch ausschließliche Empfehlung eines einzigen Kamerateyps glücklich ist, muss dahin gestellt bleiben. Sicher lassen sich mit verschiedenen Gerätschaften gute Ergebnisse erzielen und das Entwickeln des notwendigen Gefühls für die besonderen optischen Verhältnisse beim Fotografieren in das Medium Wasser hinein wird in jedem Fall einige Geduld und Übung erfordern.

Insgesamt handelt es sich bei dem hier vorgestellten Werk um eine interessante Bereicherung der mikroskopischen wie der aquaristischen Literatur. Aquarien sind – besonders in Städten, in denen keine natürlichen Gewässer zur Probenbeschaffung zur Verfügung stehen – eine Fundgrube für den Mikroskopiker. Bremers Handbuch scheint mir nicht zuletzt außerordentlich geeignet für Schulen und aquaristische Vereine, wo ein Erfahrungsaustausch stattfinden kann und gemeinschaftlich nutzbare Geräte zur Verfügung stehen.

Thomas Lazar, Göttingen

## Aus den Arbeitsgemeinschaften

### Mikrobiologische Vereinigung München



#### Programm

Mai bis Juli 2003

- 07.05.: Mikroskopierabend: Leitbündel und Polenschläuche in Antheren (Staubfäden) (T. Fiedler)
- 24.05.: Exkursion: Plankton-Exkursion mit Museumsbesuch im Kloster St. Ottilien (S. Hoc)
- 04.06.: Mikroskopische Anatomie der Blüte (Dr. M. Schubert)

- 25.06.: Mikroskopierabend: Mikroorganismen an den Fadenwurzeln von Wasserlinsen (T. Fiedler)
- 05.07.: Algen-Exkursion zur Steinernen Rinne auf der Baun-Alm bei Bad Tölz (S. Hoc)
- 26.07.: Exkursion in das Haus der Natur in Salzburg (S. Hoc)

Gäste sind zu allen Veranstaltungen willkommen. Soweit nicht anders erwähnt: Immer mittwochs um 19.30 Uhr in der Lothstraße 17, Ecke Dachauer Straße; Trambahnlinie 20; Zugang von der Dachauer oder Heßstraße zum Neubau der TU hinter dem ehemaligen alten Zeughaus; Seminarraum 04 im Untergeschoss.  
Telefon: 081 42/24 52 (S. Hoc) oder 081 31/73 64 04 (K. Henkel).

## Hinweise für Autoren

---

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

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

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

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

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

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

Zitate von Zeitschriftenbeiträgen:

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

Buchzitate:

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

Zitate von Buchbeiträgen:

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

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

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

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

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

Mikrokosmos  
3/2003

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; <http://www.elsevier.com>

1 (6)

510543  
Bibliothek des ÖÖ.  
Landesmuseums

Museumstraße 14  
4020 Linz

300229



Besuchen Sie uns online:  
[www.mikro.shopzeiss.de](http://www.mikro.shopzeiss.de)

## Sie werden Augen machen



Die Welt um uns steckt voller Wunder. Ein weiteres heißt **Stemi DV4**, ein modernes kompaktes Stereomikroskop. Das Wunderbare daran – es kostet wenig, obwohl es viel leistet. Kompromisslos scharfe und lichtstarke Bilder. Raffiniert einfach per Tastendruck: Auflicht, Durchlicht oder Mischlicht. Das **Stemi DV4** – ein neuer Lichtblick.

Interessiert? [www.zeiss.de/stemi](http://www.zeiss.de/stemi)



We make it visible.

# 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: 2003

Band/Volume: [92\\_3](#)

Autor(en)/Author(s):

Artikel/Article: [Mikrokosmos 92\\_3 1](#)