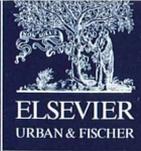


II 90372/86,3



# MIKROKOSMOS



Heft 3  
96. Jahrgang  
Mai 2007

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

ISSN 0026-3680



# MIKROKOSMOS

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

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

## Inhalt

### Artikel

- 129** Beobachtungen an der seltenen Moos-Thekamöbe  
*Amphizonella violacea*  
Chaim Glück
- 136** Ein Mikroskop auf Teilzahlung  
Gerhard Teichert
- 139** Eine interessante Teilgruppe der Süßwassergastrotrichen  
(Bauchhärlinge): Neogosseidae und Dasydytidae  
Alexander Kieneke und Ole Riemann
- 147** Mikrofossilien aus dem Nusplinger Plattenkalk  
Joachim Hormann
- 151** Beobachtungen zum Beutefangverhalten  
verschiedener amöbophager Pilze der Gattung  
*Acaulopage* (Zoopagaceae)  
Rolf Michel und Lothar Zöller
- 157** Ostrakoden – Bewohner unterschiedlichster aquatischer Habitate  
Siegfried Hoc
- 161** Plössl-Mikroskope im Vergleich mit modernen Geräten  
Erich Steiner und Peter Schulz
- 167** Der Echte Thymian – Arzneipflanze des Jahres 2006  
Rudolf Väth
- 173** Technische Realisation digitaler Mikrofotografie  
mit handelsüblichen Consumer-Digitalkameras –  
Teil 2: Digitale Spiegelreflex-Kameras, Elektronenblitz-Fotografie,  
zukünftige Entwicklungen  
Jörg Piper
- 183** Die Ligula der Kleinlibellen im Rasterelektronenmikroskop –  
Morphologische Strukturen und evolutionsbiologische Bedeutung  
Dirk Gassmann
- 188** Das Stereomikroskop als vollwertiges Beobachtungsinstrument  
für Mikro-Objekte  
Wolfgang Bettighofer

### Rubriken

**156, 166, 172, 190**

Kurze Mitteilungen

**138, 160, 191**

Buchbesprechungen

**137, 150**

Nachrichten

**191**

Aus den  
Arbeitsgemeinschaften

**192**

Mikro-Markt

Im elektronischen MIKROKOSMOS-ARCHIV [www.elsevier.de/mikrokosmos](http://www.elsevier.de/mikrokosmos)  
werden mit Erscheinen dieses Heftes drei Artikel zur Pollenanalyse  
aus den Bänden 44 (1954/55) und 45 (1955/56) wiedergegeben.

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

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

Mehr Informationen zum MIKROKOSMOS und anderen Zeitschriften finden Sie im Internet:  
[www.elsevier.de](http://www.elsevier.de)

Umschlagabbildung: Totalansicht des Süßwassergastrotrichen (Bauchhärling) *Neogossea voighti*.  
Siehe Artikel A. Kieneke und O. Riemann, S. 139–146.

# Beobachtungen an der seltenen Moos-Thekamöbe *Amphizonella violacea*

Chaim Glück

*Amphizonella violacea* ist eine lobose Thekamöbe und gehört gemäß der modernen Klassifikation von Meisterfeld (2002) der Familie der Mikrocoryciidae, Ordnung Arcellinida an. Ihre Schale ist chitinoïd, biegsam und meistens von einer breiten Schleimhülle umgeben. *A. violacea* ist aufgrund ihrer Größe und zahllosen amethystblauen oder rubinroten cytoplasmatischen Granula leicht zu erkennen. Ich habe *A. violacea* fast ausschließlich in submersen Sphagnen (Torfmoosen) lebender Hochmoore zusammen mit der typischen Hochmoorfauna entdeckt. Ein weiterer Fundort befindet sich in nassen Laubmoosen am Teichrand eines Übergangsmoores. Die gleichzeitige Präsenz von Desmidiaceen spiegelt wahrscheinlich auch die Acidophilie sowie gewisse Ansprüche an die Wasserreinheit des Biotops wider.

Aufgrund meiner Befunde scheint es sich bei *A. violacea* in Übereinstimmung mit den Beobachtungen von Maggi (1877) und Penard (1902) um eine hygrosphagnophile Amöbenart zu handeln. Umso interessanter sind die Funde von *A. violacea* in xerophilen Moosen auf Dächern und an Mauern in Magdeburg (Deutschland) (Meisterfeld und Badewitz, 2006), was doch auf eine breitere ökologische Valenz hindeutet. Inwieweit es sich um zwei verschiedene Varietäten handelt, kann allerdings noch nicht sicher beurteilt werden. In Anbetracht der Tatsache, dass die Hochmoore infolge menschlicher Einwirkung, natürlicher Ausreifung, Verheidung und klimatischer Einflüsse immer mehr den Charakter einer aussterbenden Relikt-Landschaft annehmen, ist zu befürchten, dass die von mir nachgewiesene Population von *A. violacea* bald zu einer der seltensten Protisten der Hochmoorfauna werden wird.

## Frühere Funde von *Amphizonella violacea*

Bei einem mikroskopischen Streifzug durch den Wassertropfen ist *Amphizonella violacea* mit ihren zahllosen, leuchtend rubinroten und amethystblauen Granula kaum zu übersehen (Abb. 1). 1866 hatte Greeff diese lobose Schalenamöbe erstmals beschrieben. Penard, der Altmeister der Testaceenforschung, hatte die Aufzeichnungen Greeffs in seinem Standardwerk von 1902 *Faune rhizopodique du*

*Bassin du Léman* erweitert und ergänzt. Erstaunlich ist, dass Jung *A. violacea* trotz peinlich genauer Untersuchungen der *Thekamöben ursprünglich lebender deutscher Hochmoore* aus dem Jahre 1936 nicht angetroffen hat. Wir können davon ausgehen, dass dieser scharfe Beobachter *A. violacea* nicht übersehen hätte. 1955 machte sich Thomas Gedanken über die Herkunft der auffallenden Granula in *A. violacea*. Er brachte diese in Zusammenhang mit der Nahrungsaufnahme der Blaualge *Gloeo-capsa compacta*. Als Stoffwechsellendprodukt

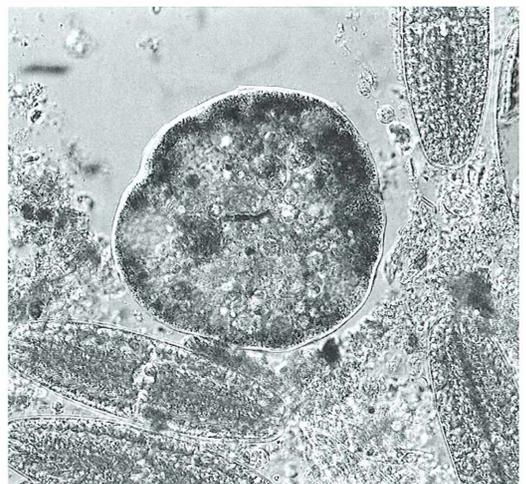


Abb. 1: *A. violacea* aus submersen Sphagnen zwischen zahlreichen *Netrium digitus*. Bois-des-Lattes, August 2005, Vergr. 200fach.

würden violette Gloeocapsin-haltige Granula entstehen. In der Fachliteratur wird *A. violacea* meistens mit den Abbildungen aus Penards Werk aufgeführt (Schönborn, 1966; Meisterfeld, 2002). Kürzlich ist eine Publikation von Meisterfeld und Badewitz erschienen, in der *A. violacea* in xerophilen Moosen auf Dächern nachgewiesen werden konnte (Meisterfeld und Badewitz, 2006).

In der vorliegenden Arbeit möchte ich zur erweiterten Kenntnis dieses zwar auffälligen, aber seltenen und wenig bekannten Urtierchens die Ergebnisse meiner Beobachtungen darlegen.

### Material und Methoden

Aus 80 Moosproben unterschiedlicher Herkunft in der Schweiz konnte *A. violacea* in drei Proben nachgewiesen werden. Davon stammen zwei Proben aus zwei relativ unberührten Hochmooren, eine aus untergetauchten Sphagnen eines Kolklandes im Hochjura bei La Chaux-de-Fonds, die andere aus sehr nassen Sphagnen eines Schwingrasens auf der Göschener Alp und die dritte aus nassen Laubmoosen am Rand eines Moorteiches im Forenmoos bei Luzern. Da *A. violacea* selten anzutreffen ist, habe ich die Proben jeweils in einer Petrischale unter dem Binokular (Leica MZ APO) bei zirka 250facher Vergrößerung beobachtet. Nach Beendigung der Untersuchung habe ich sämtliches Probenmaterial am Fundort sorgfältig zurückgeschüttet. Die Fundorte habe ich in drei aufeinander folgenden Jahren mindestens viermal pro Jahr in den Monaten Mai, Juli, August und Oktober besucht.

Der mittlere pH-Wert betrug im jurassischen Hochmoor 4,5, auf der Göschener Alp 4,3, und im Forenmoos 6. Ich habe die Organismen jeweils gemessen, die kontraktile Vakuolen gezählt, den Inhalt der Nahrungsvakuolen identifiziert und die klimatischen Verhältnisse der vorangegangenen 15 Tage registriert. Die Anzahl habe ich semiquantitativ erfasst. Überdies habe ich zu jeder Probe eine Liste der Begleitfauna und -flora erstellt sowie die umgebende Pflanzenwelt beschrieben.

### Morphologie

*Amphizonella violacea* wird von einer transparenten, biegsamen, organischen Schale um-

geben, die circa 2–5 µm dick sein kann. Sie kann Undulationen oder Falten aufweisen und liegt dem Plasmakörper fast durchgehend eng an. Im aktiven Zustand wird sie sowohl von fingerförmigen als auch von schwertartigen, meist ektoplasmatischen, lobosen Pseudopodien scheinbar zufällig irgendwo an der Oberfläche durchbrochen (Abb. 2). Normalerweise wird die Schale von einer bis zu 30 µm dicken Schleimhülle umgeben, worin stäbchenförmige Bakterien erkennbar sind. Im Tuschepräparat kommt die Schleimhülle besonders gut zur Geltung (Abb. 3). Das schlitzförmige Pseudostom ist meistens schwierig abgrenzbar.

Die Färbung des Zellkerns gestaltet sich bei *A. violacea* wahrscheinlich wegen der oben erwähnten Schleimhülle nicht einfach. Mit Hämalun nach Mayer ist es mir am besten gelungen, einen ovulären Nukleus mit zahlreichen peripheren Nukleoli nachzuweisen. Mittels Interferenzkontrast konnte ich den Nukleus häufig auch ohne Färbung identifizieren (Abb. 4–6). Der Längsdurchmesser beträgt im Durchschnitt 35–40 µm. Bereits 1877 ist Archer bei *A. violacea* der relativ große, ovuläre Nukleus mit der durch Nukleoli bedingten rauhen Oberfläche aufgefallen. Penard schrieb 1902, dass er bei *A. violacea* meistens nur einen Nukleus nachweisen konnte. Indessen habe er aber gelegentlich auch zwei oder drei finden können. Systematische Genomsequenzierungen werden hier künftig Aufschluss darüber geben, ob es sich um verschiedene Arten von *A. violacea* handeln könnte (mündliche Mitteilung von R. Meisterfeld).

Die Pigmentierung der Granula scheint in einem Zusammenhang mit der Jahreszeit zu stehen. Ab Oktober beobachtet man bei *A. violacea* einen Farbumschlag der Granula von blau nach gelbbraun und dunkelbraun innerhalb eines Zeitraumes von wenigen Tagen. Teilweise depigmentieren sich die Granula vollständig. Zurzeit kann noch nicht beurteilt werden, ob es sich um eine Folge des herbstlichen Temperaturabfalls oder um cytoplasmatische pH-Verschiebungen handelt. Meisterfeld und Badewitz (2006) vermuten, dass es sich um eine Begleiterscheinung der Encystierung handelt. Die Größe der Granula schwankt zwischen 1 und 7 µm. Neben den pigmentierten Granula erkennen wir bei *A. violacea* zahlreiche pulsierende Vakuolen, die alternierend arbeiten. Nach einem Regenguss im Hochsommer zählte ich bei mehreren Tieren aus der gleichen Probe

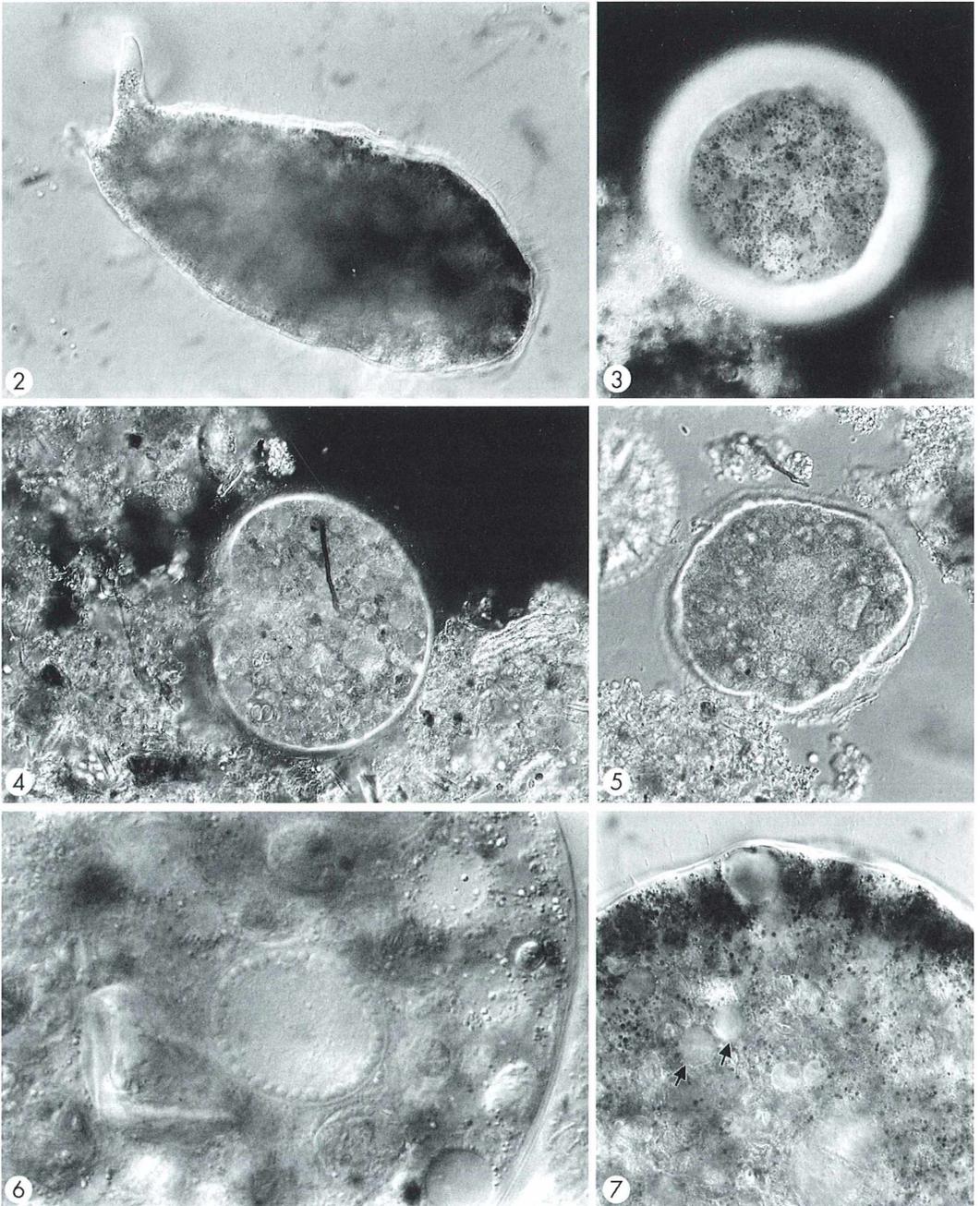


Abb. 2: Kriechende *A. violacea* mit lobosen Pseudopodien, Vergr. 400fach. – Abb. 3: Im Tuschepräparat ist die relativ dicke Schleimhülle um *A. violacea* gut erkennbar. Vergr. 250fach. – Abb. 4 und 5: Ein ovulärer Nucleus mit zahlreichen peripheren Nucleoli ist auch an der ungefärbten Zelle von *A. violacea* gut erkennbar. Vergr. 200fach. – Abb. 6: Höhere Vergrößerung des Nucleus. Die Längsachse misst hier 40  $\mu\text{m}$ . Vergr. 1000fach. – Abb. 7: Einerseits erkennt man die Zonierung mit amethystblauen Granula in der Peripherie, andererseits verschiedene kontraktile Vakuolen (Pfeile). Vergr. 1000fach.

vom Bois-des-Lattes über 36 kontraktile Vakuolen. Durchschnittlich sind 25 bis 30 pulsierende Vakuolen erkennbar. Meistens erahnt man bei den Organismen eine mehr oder weniger deutliche Zonierung, wobei sich die pigmentierten Granula und die kontraktile Vakuolen eher peripher befinden und die Nahrungsvakuolen tendenziell im Zellinnern (Abb. 7).

Was die Größe anbetrifft, so gab Greeff in seiner ursprünglichen Beschreibung von 1866 eine Länge von 150  $\mu\text{m}$  an. Penard notierte 1902 einen Streubereich zwischen 125 und 250  $\mu\text{m}$ . Meisterfeld und Badewitz berichteten 2006 von signifikanten Größenunterschieden zwischen den Populationen von Aachen und denjenigen von Magdeburg. Aufgrund unserer Beobachtungen hängt die Größe mindestens teilweise vom Klima und der Jahreszeit ab. Die Septemberformen sind meistens voluminöser als die Juniformen, wobei die Amöben vor allem auf der Göschener Alp im Durchschnitt um 18  $\mu\text{m}$  an Länge zugenommen haben. Auch nach überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen konnte ich eine durchschnittliche Größenzunahme von 12  $\mu\text{m}$  bei den Organismen im Bois-des-Lattes nachweisen. Diese Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen.

### Bewegungsweise

Während der aktiven Fortbewegung beobachten wir eine langsame, aber fast ruheloze Formveränderung der biegsamen Schale. Bald streckt sich das Tierchen aus, bald ist es fächerförmig ausgebreitet, dann nimmt es wieder kugelige oder ovoide Gestalt an. Dabei stülpt es immer wieder kurze, plump fingerförmige oder längere, schwertförmige lobose Pseudopodien aus. Gelegentlich strömt etwas Endoplasma in die Pseudopodien ein, meistens bleiben sie aber rein ektoplasmatisch. Durch die metabolische Formveränderung der Schale und der regen Pseudopodientätigkeit kommt es zu einer trägen Kriechbewegung. Häufig verharrt *A. violacea* unbeweglich an einem Ort, umgeben von der oben genannten Schleimhülle in kugeliger Gestalt, sei es auf dem Objektträger oder in einer Petrischale. Trotz dieses scheinbar komatösen Zustandes können dank der dunklen, amethystblauen Granula unentwegt cytoplasmatische Ströme beobachtet werden.

### Nahrungsaufnahme

*Amphizonella violacea* ist omnivor. Sie legt es darauf an, sich alles einzuverleiben, was in

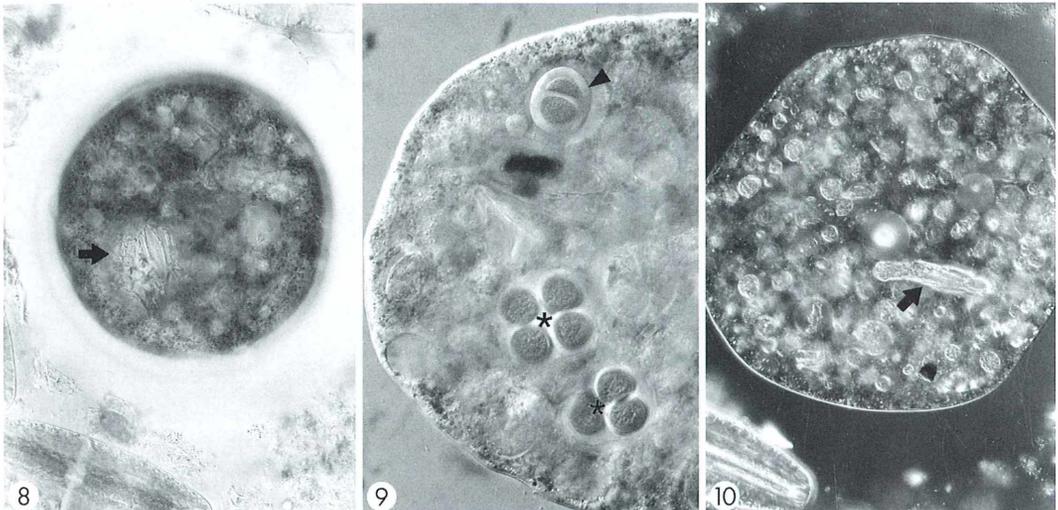


Abb. 8 und 9: *A. violacea* ist omnivor. Auf Abbildung 8 erkennt man eine erbeutete *Diattoma* mit Kieselalgenschale (Pfeil), auf Abbildung 9 Nahrungsvakuolen mit *Chroococcus* (\*) und *Asterococcus* (Pfeilkopf). – Abb. 10: Im Dunkelfeld sind die zahlreichen Nahrungsvakuolen noch deutlicher zu erkennen. Zentral liegt ein erbeuteter Bauchhärling (Pfeil). Vergr.: 400fach.

ihre Nähe gerät: Diffflugien, Euglyphen, *Dinobryon*, *Chroococcus*, Grünalgen und Rädertiere (Abb. 8 und 9). Im Dunkelfeld sind die zahlreichen Nahrungsvakuolen gut sichtbar (Abb. 10). Verglichen mit der langsamen Fortbewegung des Einzellers läuft der Vorgang der Nahrungsaufnahme sehr schnell ab. Dabei ist anzunehmen, dass tierische Beute an den Pseudopodien immobilisiert wird. Ich konnte mehrmals beobachten, dass die rotierende Bewegung des Räderorgans von Rädertierchen nach Berührung mit einem Pseudopodium ziemlich rasch zum Erliegen kam. Bei der Phagozytose imponiert ein reißverschlussartiger Mechanismus, der das Pseudostom je nach Bedarf erweitert. Plasmaströme transportieren die phagozytierte Nahrung weg von der Peripherie. Nach circa einer Stunde wird eine gut erkennbare Nahrungsvakuole sichtbar. Der Verdauungsprozess dauert je nach Beute zwei bis fünf Tage. Der Kauapparat der Rädertierchen wird nicht verdaut. Unverdaute Reste werden im Bereich des Pseudostoms ausgestoßen.

### Ökologie und Biozönose

*Amphizonella violacea* ist sehr selten anzutreffen. Wie bereits erwähnt, konnte diese Amöbenart in 80 Moosproben unterschiedlichen Nässegrades nur in zwei geschützten Hochmooren beziehungsweise einem geschützten Übergangsmoor von nationaler Bedeutung an nassen Standorten nachgewiesen werden. Im großen Bois-des-Lattes konnte *A. violacea* in submersen Sphagnen eines Kolklandes gefunden werden. Das Wasser ist braungelb und weist einen durchschnittlichen pH von 4,5 auf. Als Begleitflora sind Horste von *Rhynchospora alba*, *Eriophorum angustifolium* und *Trichophorum caespitosum* zu nennen. Ein paar Meter weiter sind lockere Bestände von *Betula nana* zu verzeichnen. Auf der Göschener Alp ist *A. violacea* in nassen Torfmoosen eines Schwingrasens anzutreffen. Als Begleitflora fällt *Scheuchzeria palustris* und *Drosera rotundifolia* auf. Das Wasser ist bernsteinfarben und hat einen pH von 4,3. Im Forenmoos handelt es sich schließlich um untergetauchte Laubmoose am Teichrand. Das Wasser ist ebenfalls hellgelb und hat einen pH von 6. Der Teich ist umgeben von einer Cyperaceenwiese mit verschiedenen Orchideenarten.

**Tabelle 1: Begleitfauna von *A. violacea* in den Hochmooren der Göschener Alp sowie des Bois-des-Lattes (Schweiz).**

---

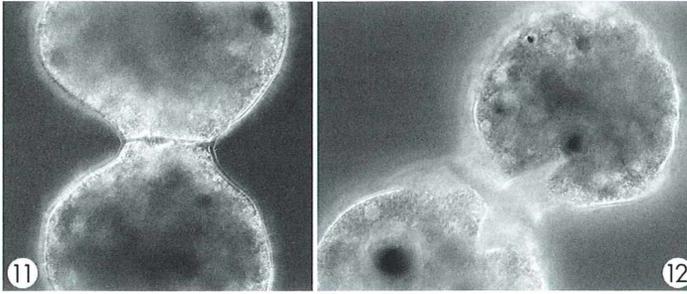
<i>Amphitrema stenostoma</i>
<i>Arcella catinus</i>
<i>Centropyxis aculeata</i>
<i>Diffugia bacillifera</i>
<i>Ditrema (Archevella) flavum</i>
<i>Ditrema (Archevella) wrightianum</i>
<i>Hyalosphenia elegans</i>
<i>Hyalosphenia papilio</i>
<i>Nebela carinata</i>
<i>Nebela marginata</i>

---

Das auffallendste Merkmal aller drei Fundorte ist der ausgeprägte Nässegrad. Die Höhenlage spielt wahrscheinlich keine wesentliche Rolle (Göschener Alp 1750 m ü. M., Bois-des-Lattes 1100 m ü. M., Forenmoos 700 m ü. M.). Interessant ist bei allen drei Fundorten die floristisch-faunistische Biozönose. Zum einen imponiert eine relativ hohe Zahl an Thekamöbenarten, zum anderen fällt die Vergesellschaftung mit Desmidiaceen aus der reinen Wasserzone auf, wie zum Beispiel *Staurodesmus spencerianus*, *Docidium undulatum*, *Staurastrum scabrum*, *Euastrum denticulatum*, *Cosmarium pseudamoenum*, *Micrasterias crux-melitensis* und viele mehr (Lenzenweger, 1996).

Auch ist es erstaunlich, dass an den Fundorten von *A. violacea* außergewöhnlich viele lebende Vertreter von *Centropyxis aculeata* nachgewiesen werden können. Meistens findet man nur leere Schalen von *C. aculeata* vor. Überaus interessant ist auch der Nachweis von *Arcella mitrata* am Fundort im Bois-des-Lattes, die gemäß Penard schon vor 100 Jahren als ausgestorben erklärt und von Jung als eine der seltensten Arcellen bezeichnet worden war (Penard, 1902; Jung, 1936). In Tabelle 1 sind die zehn häufigsten Thekamöbenarten der Biozönose der beiden unberührten Hochmoore im Jura und auf der Göschener Alp am Fundort von *A. violacea* aufgeführt. Gemäß Peus (1932) handelt es sich um die Rhizopodenfauna der nassesten Hochmoorstandorte.

Die soeben beschriebene floristisch-faunistische Biozönose scheint eine notwendige Voraussetzung für das Gedeihen von *A. violacea* zu sein. Die Thekamöbenassoziation vor allem in den zwei Hochmooren per se ist schon relativ selten anzutreffen und meistens nicht auf einen bestimmten Standort konzentriert.



**Abb. 11 und 12: Teilungsfigur von *A. violacea*. Nach Beendigung der Knospungsteilung bildet sich in der Symmetrieachse beim Tochtertier ein Pseudostom, gefolgt von der raschen Abschnürung.**



**Abb. 13: Encystierte *A. violacea*. Die Granula sind braun gefärbt, kontraktile Vakuolen nicht mehr erkennbar. Vergr. 400fach.**

### Fortpflanzung

Im Forenmoos können wir von Ende Mai bis Anfang August Zellteilungen beobachten. In höheren Regionen fallen die ersten Zellteilungen in die wärmeren Junitage, wenn silbriger Glanz über dem Moor flimmert und schimmert. Dies dürfte die Feststellung Schönborns in seiner Zusammenfassung über Testaceen bestätigen, dass die Teilungsrate temperaturabhängig sei (Schönborn, 1966). Im Forenmoos, das sich nur fünf Minuten vor meiner Hautür befindet, war die Wahrscheinlichkeit, Zellteilungen zu beobachten, in der Dämmerung zwischen 18 und 21 Uhr am höchsten. Nächtliche Untersuchungen um 2 Uhr am Morgen unterschieden sich nicht von denjenigen von 14 Uhr am Nachmittag. Deshalb sollte die Aussage, dass Teilungen vornehmlich

nachts stattfinden, überprüft werden (Bělař, 1921).

Bei *A. violacea* kann man in Übereinstimmung mit den Angaben von Schönborn (1966) von einer Knospungsteilung sprechen. Initial erfolgt die Kernteilung. Die Aktivität der kontraktile Vakuolen und die Fresstätigkeit werden eingestellt. Aufgrund der positiven Wasserbilanz nimmt das Volumen der Zellen zu. Dann quillt zusehends eine Plasmaknospe aus dem Pseudostom, wobei zumindest teilweise Schalenmaterial des Muttertieres nachgezogen wird. Sobald die Plasmaknospe die Größe des Muttertieres erreicht hat, wandert der Kern in die Tochterzelle. Dieser Vorgang dauert höchstens zwei Stunden. Danach beobachtet man in der Symmetrieebene eine permeable Trennmembran, wo Plasmaströme in beide Richtungen während weiteren drei Stunden stattfinden (Abb. 11). Nach Ablauf dieser Austauschphase bildet sich beim Tochtertier ein Pseudostom und die Teilung wird durch rasche Abschnürung beendet (Abb. 12). Es kann jetzt eine erhöhte Tätigkeit der kontraktile Vakuolen beobachtet werden, um das überschüssige Wasser hinauszupumpen. Vom Beginn der Kernteilung bis zur Abschnürung dauert die Zellteilung bei *A. violacea* fünf bis sechs Stunden.

### Encystierung

Beim herbstlichen Temperaturabfall beginnt *A. violacea* wie Diffflugien und Arcellen Ruhezysten zu bilden. Ob es sich um eine Folge des Temperaturabfalls oder um Nahrungsmangel handelt, ist nach heutigem Stand des Wissens nicht geklärt. Ein erblicher Vorgang oder endogene Prozesse werden in diesem Zusammenhang diskutiert (Schönborn, 1966). Während der Encystierung runden sich die Amöben ab und reduzieren ihr Volumen augen-

fällig. Die Grenzen der Nahrungsvakuolen und der pulsierenden Vakuolen lösen sich auf und das Zytoplasma verfärbt sich homogen hell- bis dunkelbraun. Auch die amethystblauen Granula werden braun (Abb. 13). Eine Excystierung konnte ich bisher nicht beobachten.

### Verwechslungsmöglichkeiten

Meisterfeld und Badewitz (2006) weisen darauf hin, dass *A. violacea* leicht mit *Zonomyxa violacea* verwechselt werden kann. Bei *Zonomyxa* fehlt aber die Schleimhülle, und sie hat stets mehr als einen Nukleus. Penard (1902) konnte bei *Zonomyxa violacea* bis 32 Nuklei nachweisen.

### Danksagung

Dr. W. Schönborn, Jena, hat diese Arbeit kritisch durchgelesen und mit Anmerkungen bereichert. Für sein Interesse an meiner Untersuchung und seine rege Hilfsbereitschaft möchte ich meinen herzlichen Dank abstimmen. Desgleichen schulde ich für echt deutsche Gastfreundschaft und Unterweisung in Färbemethoden und Bestimmung von Thekamöben Herrn Dr. R. Meisterfeld, Aachen, meinen Dank. Dank gebührt auch Herrn Prof. R. Lenzenweger, Ried im Innkreis, der mir bei der Bestimmung der Desmidiaceen stets behilflich gewesen war. Schließlich habe ich Herrn Prof. J.-O. Gebbers, Luzern, der mich durch seine unermüdliche Anteilnahme an der Untersuchung stets ermuntert hat, meinen herzlichsten Dank abzustatten.

### Literaturhinweise

Archer, W.: *Amphizonella violacea* Greeff. Quat. J. Microscop. Sci., new series 17, 464 (1877).  
 Bělár, K.: Untersuchungen über Thekamöben der *Chlamydomorphys*-Gruppe. Arch. Protistenk. 43, 287–354 (1921).  
 Greeff, R.: Über einige in der Erde lebende Amöben und andere Rhizopoden. Archiv mikr. Anatomie 11 (1866).  
 Jung, W.: Thekamöben ursprünglicher, lebender deutscher Hochmoore. Abh. Landesmus. Prov. Westf. 7, Heft 4 (1936).  
 Lenzenweger, R.: Desmidiaceenflora von Österreich, Teil 1–4. J. Cramer in der Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin 1996–2003.  
 Maggi, Z.: Contribuzione alla morfologia delle amphizonelle. Rendiconti del reale istituto lombardo di scienze e lettere; ser. 2: 10, 315–323 (1877).  
 Meisterfeld, R.: Order Arcellinida Kent. In: Lee, J.J., Leedale, D.F., Bradburg, P. (eds.): An illustrated

guide to the protozoa, 2<sup>nd</sup> ed., pp. 827–860. Society of Protozoologists, Allan Press, Lawrence, Kansas, 2002.  
 Meisterfeld, R., Badewitz, H.-J.: A redescription of *Amphizonella violacea* (Amoebozoa: Arcellinida). Acta Protozool. 45, 167–173 (2006).  
 Penard, E.: Faune rhizopodique du Bassin du Léman. Kündig, Geneve 1902.  
 Peus, F.: Die Tierwelt der Moore. In: Bülow, K. V. (Hrsg.): Handbuch der Moorkunde, Bd. 3. Borntraeger, Berlin 1932.  
 Schönborn, W.: Beschaltete Amöben (Testaceae). Die neue Brehm-Bücherei. A. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt 1966.  
 Thomas, R.: Remarques sur deux rhizopodes. Act. Soc. Linn. Bordeaux 96, 10–16 (1955/56).

Verfasser: Chaim Glück, Flossenmatt 12, 6045 Meggen, Schweiz



**euromex**  
MICROSCOPES HOLLAND

**Mikroskope**  
**Stereomikroskope**  
**Mikrotome**  
**Kaltlichtbeleuchtung**  
**Refraktometer**

- neueste Technologien
- hochwertige Optik
- präzise Metallverarbeitung
- sorgfältige Montage
- relativ niedrige Preise



STEREOMIKROSKOP E-REIHE



MIKROSKOP F-REIHE

Fordern Sie unseren Prospekt an

**euromex microscopen b.v.**  
 Papenkamp 20, 6836 BD Arnheim, Niederlande  
 Tel.: +31.26.323.4473, Fax +31.26.323.2833  
 email: euromex@tref.nl, web: http://www.euromex.nl

# Ein Mikroskop auf Teilzahlung

Gerhard Teichert

Selten lässt sich bei Museumsstücken der Lebenslauf verfolgen. Hier bei diesem Mikroskop aus dem Jahr 1882, das ich aus Familienbesitz erwerben konnte, fanden sich unter dem Seidenkissen im Deckel des Aufbewahrungsschranks einige Zettel, die interessante Einblicke gewähren (Abb. 1 und 2).

Das Mikroskop wurde den MIKROKOSMOS-Lesern schon einmal im Zusammenhang mit einem Zeichenapparat vorgestellt (Lenzenweger, 1994). Den dazugehörigen Zeichenapparat (Zeichenprisma nach Oberhäuser) konnte ich etliche Jahre später auf einem Berliner Trödelmarkt (für Insider: „Nolle“) erwerben!

Zunächst ist die *Mittheilung* des Herrn Dr. E. Hartnack an Herrn Assistenzarzt Dr. Adrian in Reichenbach, Schlesien zu erwähnen. Dort wird die Bestellung eines Instruments durch einen anderen Herrn bestätigt. Der Preis für das *Mikroskop N III mit den Systemen 3, 5, 7 und den Ocularen 2,3* wird mit 144 Reichsmark (RM) angegeben. Die Verpackung kostet 1 RM. 100 RM waren schon bezahlt worden. Da aber bei der Bestellung eine Preisgrenze von 140 RM

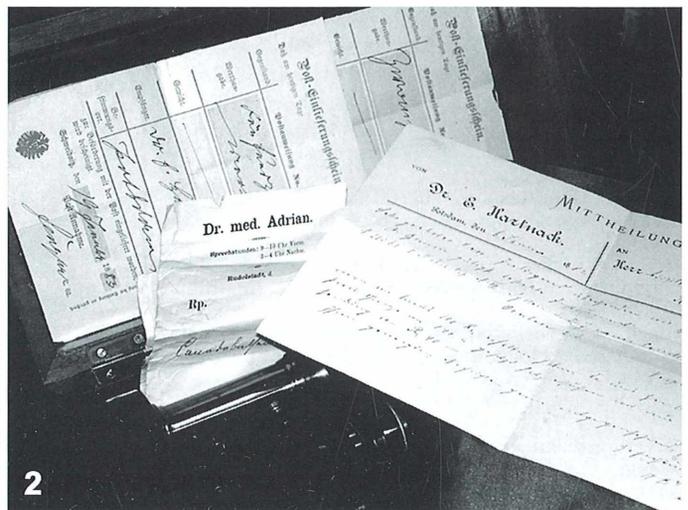
gesetzt worden war, ersuchte Dr. Hartnack nur noch um die Übersendung von 40 RM.

Wie die beiden beiliegenden Posteinlieferungsscheine aus Schweidnitz beweisen, hat Dr. Adrian den Restbetrag in zwei Raten bezahlt, und zwar am 19. Januar 1883 mit 25 RM und am 18. Januar 1884 mit 20 RM, insgesamt also doch 145 RM (Abb. 3 und 4). Dr. med. Adrian hatte übrigens eine Praxis in Rudolstadt, wie aus einem Rezeptformular mit der Notiz *Canadabalsam* hervorgeht.

Ob das Mikroskop nun im Rahmen einer Arztpraxis zum Beispiel für Blut- oder parasitologische Untersuchungen oder vielleicht „nur“ zur Freude am Mikroskopieren benutzt wurde, wird uns verborgen bleiben. Die Art der Geschäftsabwicklung gibt uns jedoch einen schönen Einblick in die *gute alte Zeit*.



1



2

Abb. 1 und 2: Der Deckel des Aufbewahrungsschranks mit einem Seidenkissen ausgelegt (1), hinter dem sich einige Schriftstücke verborgen (2).

Post-Einführungsschein.	
Das am heutigen Tage:	
Gegenstand:	Postanweisung No. 6724
Wertbest.: Wert:	zweiundzwanzig Reichsmark
Gewicht:	
Empfänger:	H. f. Garbhand
Stimmungsart:	Postbaldem
zur Sicherung mit der Post eingeschickt werden, wird beifolgend.	
Schreibzeit, den 19. Januar 1955	
Post-Annahme.	

3

Post-Einführungsschein.	
Das am heutigen Tage:	
Gegenstand:	Postanweisung No. 6790
Wertbest.: Wert:	zweiundzwanzig Reichsmark
Gewicht:	
Empfänger:	Dr. Hartmann
Stimmungsart:	Postbaldem
zur Sicherung mit der Post eingeschickt werden, wird beifolgend.	
Schreibzeit, den 18. Januar 1955	
Post-Annahme.	

4

Abb. 3 und 4: Posteinlieferungsscheine über insgesamt 45 Reichsmark.

### Literaturhinweis

Lenzenweger, R.: Das Zeichnen am Mikroskop. Mikrokosmos 83, 11–16 (1994).

Verfasser: Dr. Gerhard Teichert, Preußenallee 42, 14052 Berlin

## Nachricht

### PhotonicNet-Forum Mikroskopietrends 2006: Quantifizierung und Automatisierung in der Lichtmikroskopie

Beim PhotonicNet-Forum Mikroskopietrends am 7. Dezember 2006 in Göttingen standen aktuelle Mess- und Manipulationsmethoden aus verschiedenen Anwendungsbereichen der LifeScience-Mikroskopie im Mittelpunkt.

In der Mikroskopie sind die Zeiten des reinen Imaging vorbei. Wie molekulare Prozesse genau ablaufen, welche Funktion bestimmte Zellbestandteile dabei übernehmen, oder in welcher Konzentration ein Molekül seine optimale Wirkung entfaltet, sind Fragen, die man heute beantworten möchte. Daher gewinnt die quantitative Auswertung der gewonnenen Bilddaten für die biomedizinische Forschung, aber auch für Anwendungen in der industriell geprägten Materialmikroskopie, zunehmend an Bedeutung.

In seiner Begrüßung der Teilnehmer aus ganz Deutschland betonte Bernd Ohnesorge, Leiter des Geschäftsbereichs Lichtmikroskopie der Carl Zeiss MicroImaging GmbH am Standort Göttingen, dass sich sein Unternehmen als ständig lernende Organisation verstehe. Auf dem hart umkämpften Mikroskopiemarkt – 1 bis 2 Milliarden Euro weltweit bei vier großen Anbietern und einem deutlich zunehmendem Konkurrenzdruck aus Asien – seien die Gerätehersteller aufgefordert, in engem Austausch mit dem Kunden den Bedarf der Anwendungsseite direkt in die Mikroskope umzusetzen.

Diesem Kommunikationsbedarf ein regelmäßiges Podium zu geben, ist das zentrale Anliegen des Forums Mikroskopietrends, das inzwischen zum fünften Mal von PhotonicNet in Kooperation mit Leica Microsystems und Carl Zeiss MicroImaging organisiert wurde.

### Flexibilität, Objektivität, Reproduzierbarkeit

Mikroskopsysteme für die moderne quantitative Forschung müssen heute bestimmte grundlegende Qualitäten gewährleisten: Als flexible Plattform sollen sie für ein breites Kundenspektrum generalisierbare Aussagen schaffen. Außerdem fordert der Blick in eine Welt im Mikro- bis Nanometermaßstab sowohl eine hohe Sensitivität als auch eine deutlich verbesserte Automatisierung. Fokusstabilität, hoher Probendurchsatz, Objektivität und Reproduzierbarkeit waren demnach die zentralen Stichworte der diesjährigen Vorträge.

Aktuelle Lösungsansätze für die Laser Scanning Mikroskopie stellte Leica Microsystems zum Beispiel mit dem Spectral Imaging Detector vor, der eine scharfe Farbtrennung bei der Detektion in Lebendproben ermöglicht, oder der dynamische akustooptische Strahlenteiler AOBs für multispektrale Bildaufnahmen bei mehrfach gefärbten Proben. Eine Steigerung der Aufnahmegeschwindigkeit gestattet außerdem ein so genannter Tandem-Scanner, also zwei in einem Mikroskop vereinte Konfokalsysteme. Hierbei zeigte sich ein unerwarteter und sehr erstaunlicher Nebeneffekt: Die Probe bleicht weniger aus!

Manfred Blich von Carl Zeiss MicroImaging fasste sich in seinem Vortrag mit Lösungen auf Basis der Software-Tools Visual Basic bzw. Visual Macro Editor. Diese Programme, welche der Steuerung der Datenerfassung und Daten-Weiterverarbeitung dienen, sollen dem Anwender helfen, beispielsweise der Komplexität der heutigen Fragestellungen und der großen

Probenzahl gerecht zu werden. Große Fortschritte wurden hier bei der automatisierten Korrektur des Fokusdrifts insbesondere bei Lebendproben gemacht.

### **Hintergrundsignal einfach herausrechnen**

Rauschsignale ausgehend von der Hintergrundfärbung sind ein großes Problem für alle Fluoreszenzverfahren. Als mögliche Lösung stellte Thai Wu Chen von der Abteilung Neurophysiologie und zelluläre Biophysik an der Universität Göttingen ein interessantes und einfaches Verfahren vor, das sowohl in Weitfeld- als auch in Konfokalmikroskopen Anwendung findet und von den Geräteherstellern in bestehende Geräte integriert werden könnte. Grundlage ist ein Rechenverfahren, das anhand der zeitlichen Veränderung der Fluoreszenz an verschiedenen Messpunkten in den jeweils interessierenden Bereichen das Hintergrundsignal sehr genau und schnell herausrechnet.

Die Bedeutung des Registrierens und Klassifizierens als wichtige Schritte noch vor dem Quantifizieren erläuterte Karl Rohr von der Biomedical Computer Vision Group am Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ), Heidelberg. Diese Schritte machen eine gleichzeitige quantitative Auswertung von Proben, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten oder aus verschiedenen Zellen beziehungsweise Individuen genommen wurden, sowie eine automatisierte Auswertung der Bildsequenzen möglich. Am DKFZ arbeitet man unter Verwendung dieser Methoden am 3D-Genom-Projekt, zum Beispiel um Chromosomen im Zellkern zu lokalisieren oder zur Klärung der Frage, welche Zellregionen und Gene für die Zellteilung relevant sind.

Weitere Anwendervorträge kamen vom Universitätskrankenhaus Regensburg sowie der Technischen Universität Karlsruhe. Sie belegten die enorme Bedeutung moderner Bildauswertungsverfahren für die

Analyse neuronaler Vorgänge oder die Untersuchung der Wirksamkeit von speziellen Medikamenten.

### **Der toten Materie auf das Gefüge geschaut**

Dass sich die Anforderungen in der Materialanalyse nicht entscheidend von jenen in den Life Sciences unterscheiden, verdeutlichte Timo Bernthaler. Die Hochschule Aalen bietet der Industrie mit dem Programm MosaiX eigene Scan- und Fokusalgorithmen an, die eine hochaufgelöste Analyse feiner und grober Gefügestrukturen in einem Schritt zulassen. Bernthaler nutzte die Gelegenheit des Forums, um an die Gerätehersteller den Wunsch zu richten, Probenpräparation und Bildanalyse – ähnlich den aktuell verfolgten Lösungen für die Life Sciences Mikroskopie – in einem Gerät zu vereinen.

### **Das Rasterkraft-Mikroskop – eine Alternative?**

Im abschließenden Vortrag brachte Clemens Franz von der Universität Dresden den überwiegend Lichtmikroskopie-gewohnten Zuhörern die Vorzüge eines gänzlich anderen mikroskopischen Verfahrens nahe: Das Rasterkraft-Mikroskop (AFM). Als etwas teuren Plattenspieler bezeichnete Franz schmunzelnd das mit einer hochempfindlichen taktilen Spitze (Cantilever) versehene Instrument. Die Vorteile seien vielfältig: Proben müssen nicht vorher präpariert werden, Lebendbeobachtungen unter physiologischen Bedingungen und die Wiedergabe von Höhenstrukturen sowie ein Reinzoomen in die Probe sind möglich. Insbesondere bei inhomogenen Proben sei die Kombination des AFM mit einem Lichtmikroskop sinnvoll, um beispielsweise die interessierenden Präparatebereiche zu finden. Somit schloss sich nach diesem Ausflug in die Welt der etwas exotischeren Bildanalyseverfahren am Ende des Forums der Kreis zur vertrauten Welt der Lichtmikroskopie.

Redaktion MIKROKOSMOS

## **Buchbesprechung**

**Kremer, B. P.: Vom Referat bis zur Examensarbeit – Naturwissenschaftliche Texte perfekt verfassen und gestalten, 2. Auflage.** Springer Verlag, Heidelberg 2006, 221 Seiten, 26 Abbildungen, 18 Tabellen, broschiert, € 14,95, ISBN 978-3-540-29257-9.

Dieses von einem Meister des geschriebenen Wortes zusammen-

gestellte Buch erschien erstmals 2004 und war ein voller Erfolg. Wenn B. P. Kremer seinerzeit seine Schreibhilfe explizit an Biologiestudenten adressierte, so ist in der vorliegenden Neuauflage das Spektrum deutlich erweitert, indem sich seine Werkstatthanleitung, wie er selbst dieses Buch nennt, an Naturwissenschaftler schlechthin wendet, also gleichermaßen an Astronomen, Biologen, Chemiker, Mediziner, Pharmazeuten und

Physiker. Die praktischen Beispiele kommen dann aber – wen wundert es – aus der Biologie.

Möge dieser bewährte Leitfaden weiterhin allen denen hilfreich sein, die noch nicht so viel Erfahrung aufzuweisen haben, wenn es darum geht, das in angemessener und ansprechender Form zu Papier zu bringen, was ihnen im Kopf als Idee, Vorstellung oder Wunsch umherschwirrt.

Thomas Groß, Heidelberg

# Eine interessante Teilgruppe der Süßwassergastrotrichen (Bauchhärlinge): Neogosseidae und Dasydytidae

Alexander Kieneke und Ole Riemann

Die Bauchhärlinge oder Gastrotrichen gehören zur typischen mikroskopischen Bodenfauna des Sandlückensystems der Meeresböden und Strände sowie des Benthals der unterschiedlichsten Süßgewässer von Seen über Teiche und Tümpel hin zu langsam fließenden Gräben. Hier werden von einigen Arten die nur schlecht mit Sauerstoff versorgten Schlammschichten und organische Fluffablagerungen besiedelt, aber auch die verschiedensten untergetaucht lebenden Wasserpflanzen und Laubmoose der Uferzone.

Vielen Mikroskopikern, die sich mit der limnischen Meiofauna befassen, dürften typische, da recht häufige Formen wie der stattliche *Chaetonotus maximus*, flinke *Ichthyidium*-Arten oder die mit ihrem Kleid aus gekielten Schuppen recht elegant wirkenden Arten der Gattung *Heterolepidoderma* durchaus ein Begriff sein.

Weit weniger bekannt oder beobachtet sind dagegen Gastrotrichen aus zwei ausschließlich in Süßgewässern vorkommenden Taxa, den Neogosseidae und Dasydytidae, deren Angehörige die strenge Bindung ans Bodenleben aufgegeben haben. Zum einen reizt beim Studium der verschiedenen Arten dieser beiden Gruppen das aufgrund oft geringer Individuendichten und der spezifischen Kleinstlebensräume kryptische Leben. Weit mehr fasziniert jedoch die enorme Formvielfalt und das meist recht eigentümliche Verhalten dieser Tiere, was sich teilweise sogar in Trivialnamen wie etwa Tanztierchen, Springtierchen oder Borstentaucher (Streble und Krauter, 2002) widerspiegelt. Alles in allem handelt es sich bei den hier vorgestellten Organismen um sehr reizvolle Objekte für das mikroskopische Studium, bei denen auch noch so manches ungelöste Rätsel aufgeklärt werden kann. Wir möchten hier einige dieser faszinierenden Tiere vorstellen und Anregungen geben, wo und wie diese zu finden und für die mikroskopische Untersuchung zu präparieren sind.

## Terminologisches: Was bedeutet hemipelagisch?

Bevor wir die Lebensräume der hier vorgestellten Arten charakterisieren, werden wir zu-

nächst auf die vereinende Bezeichnung dieser Tiergruppe eingehen, die sich vor allem auf ihre abweichende Lebensweise beruft. Der Kieler Zoologe Adolph Remane, der bedeutendste Bearbeiter der Bauchhärlinge in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, benutzt in seinen monographischen Arbeiten (z.B. Remane, 1936) oft den Terminus hemipelagische Gastrotrichen; er bezeichnet die Neogosseidae sogar als pelagisch. All diese Umschreibungen dürfen allerdings nicht so verstanden werden, als handele es sich bei diesen Gastrotrichen um temporäre oder sogar dauerhafte Elemente des Süßwasserpflanktons. Dem ist so nicht! Hemipelagisch bedeutet hier vielmehr, dass sie keine obligate Bindung an das Substrat, sei dies nun sandiger Grund, Schlamm oder Pflanzen besitzen, wie diese alle übrigen Süßwasser-Gastrotrichen aufweisen. Mit diesem Umstand korreliert natürlich das Fehlen der für alle übrigen Gastrotrichen typischen Haftröhren. Und damit sind wir nun auch bei der Besprechung der typischen Lebensräume der Neogosseidae und Dasydytidae gelangt.

## Methodisches: Wo und wie finde ich hemipelagische Gastrotrichen?

Prinzipiell sollten für ein Studium dieser Tiergruppe stehende Klein- und Kleinstgewässer mit üppigem Bewuchs von untergetauchten Gefäßpflanzen wie etwa dem Tausendblatt (*Myriophyllum*), dem Hornkraut (*Ceratophyllum*) oder dem Wasserstern (*Callitriche*), die durch ihr verzweigtes Sprosssystem und oftmals gefiederte Blätter eine reiche räumliche Strukturie-

rung aufweisen, genauer auf ihre Gastrotrichen-Fauna hin untersucht werden. Vor allem verschiedene Vertreter der Dasydytidae halten sich schwebend im Wasserkörper zwischen den Pflanzen auf, wo sie – weitgehend unbeeinflusst von störenden makroskopischen Strömungen – ihrer Nahrung, diese stellen hauptsächlich einzellige Mikroalgen und Bakterien dar, nachstellen. Biotop, die solche Faktoren erfüllen, sind vor allem unter kleinen Tümpeln und Teichen zu suchen, aber auch in flachen Altarmen und Gräben zu finden, welche manchmal völlig von einem üppigen, artenreichen Phytal erfüllt sind. Auch kleinere Moorgewässer sollten genauer untersucht werden. Einen Eindruck von der hier anzutreffenden Diversität, nicht nur bei den Gastrotrichen, liefert eindrucksvoll die mehrjährige Bearbeitung des süddeutschen Simmelried (Kreutz und Foissner, 2006).

Ein weiteres ergiebiges Biotop stellen kleine, eutrophe Gräben dar, die zum einen über ausreichend organische Mulmauflage am Grunde sowie über Bewuchs von Wasserlinsen (*Lemna* spp.) verfügen sollten. Hier sind vor allem hemipelagische Gastrotrichen schwebend über der anoxischen Schlammauflage sowie zwischen den Wurzeln der winzigen Schwimmpflanzen zu finden.

### Arbeiten im Gelände

Für die Beprobung von im Pflanzendickicht lebenden Arten hat es sich bestens bewährt, einfach ein Knäuel von Pflanzen zeitweilig dem Gewässer zu entnehmen und das gesamte Bündel über einem Plastikeimer mit aufgesetztem, handelsüblichem Küchendurchschlag auszupressen. Der Durchschlag soll störende Pflanzenteile sowie Falllaub oder Makrofauna zurückhalten, die sogleich wieder in den Lebensraum entlassen werden können. Das so erhaltene Primärfiltrat kann nun über eine Planktongaze (Maschenweite etwa 40 µm) filtriert werden. Den Rückstand mit den hoffentlich enthaltenen Gastrotrichen spült man sofort mit gefiltertem Wasser vom Fundort in ein Probengefäß. Hierzu eignet sich eine Spritzflasche aus Polyethylen aus dem Laborbedarf. Eutrophe Gräben kann man am besten mit einem nicht zu großen, an einen Stab montierten Planktonnetz beproben, wobei darauf zu achten ist, dass nicht zu viel organisches Material mit in das Netz gerät. Ein *Lemna*-Teppich wird einfach

mit einem offenen Gefäß abgeschöpft, in einem Eimer mit Fundortwasser durchgeschwenkt und dann wie die oben behandelten Makrophyten abfiltriert. Mit den hier beschriebenen einfachen Probenahmetechniken, die sich für quantitative Untersuchungen gewiss wenig eignen, sollte eine befriedigende Aufkonzentrierung von Organismen stattfinden, so dass für die lichtmikroskopische Untersuchung genügend Material zur Verfügung steht.

### Arbeiten im Labor

Die frisch gewonnenen Proben, die bei warmer Witterung gegebenenfalls wärmeisoliert transportiert werden sollten, müssen zunächst in eine oder mehrere Petrischalen gegossen werden, damit sie unter einer Stereolupe, vorzugsweise mit Durchlichtfuß, auf Gastrotrichen hin durchgemustert werden können. Man kann auch versuchen, eine Auflichtbeleuchtung schräg gegen einen schwarzen Hintergrund in die Schalen fallen zu lassen, so dass freischwimmende Meiofauna-Organismen besser erkannt werden können. Wir haben derzeit die Möglichkeit, mit vorzüglichen Leica-Geräten zu arbeiten, welche über einen Durchlichtfuß mit integrierter Schrägbeleuchtung verfügen, mit der sich ein sehr hilfreicher Dunkelfeld-Effekt erzielen lässt. Unsere Erfahrung hat gezeigt, dass frisch ausgegossene Proben zunächst einige Zeit ruhen sollten, bevor die Gastrotrichen ihre durch das stetige Verwirbeln beim Transport herabgesetzte Aktivität wiedererlangen und erst so sicher entdeckt werden können. Günstig erscheint es, die Proben zunächst bei geringer Vergrößerung mit höherer Schärfentiefe (etwa 20fach) durchzumustern, so dass man die gesamte Wassersäule der Probe im Blick hat. Mutmaßliche freischwimmende Gastrotrichen können dann auf ihre Identität hin bei höheren Vergrößerungen untersucht werden. Bei dieser Vorgehensweise wird man sicherlich so manches Rädertier erwischen, worunter sich allerdings auch vorzügliche Untersuchungsobjekte befinden.

Aufgefundene Organismen werden nun mit einer zur feinen Kapillare ausgezogenen Pasteurpipette, die über einen angebrachten Silikon Schlauch sehr gut mit dem Mund zu bedienen ist, aus den Probenschalen gesaugt und zunächst in einem kleineren Gefäß, zum Beispiel einem Präpariernäpfchen aus Glas, gesammelt.

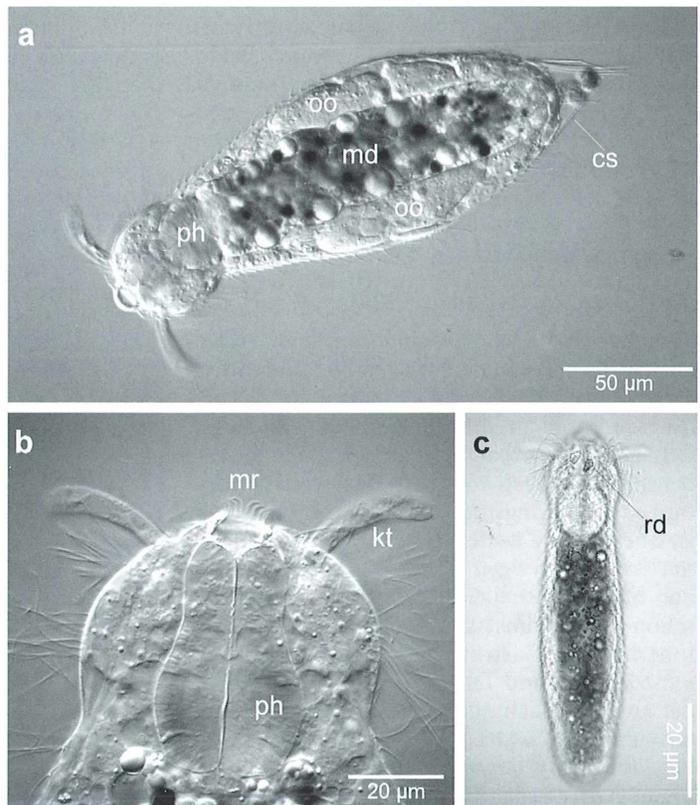
Hier kann man die ausgelesenen Tiere vor der mikroskopischen Untersuchung mit verschiedenen Substanzen behandeln, um eine Betäubung zu erzielen, die wiederum das Studium der flinken Tierchen erheblich vereinfacht. Viele Anregungen hierfür sind beispielsweise bei Streble und Krauter (2002) zu finden. Bei uns hat sich zum einen der Einsatz von mit CO<sub>2</sub> angereichertem Probenwasser (mittels eines handelsüblichen Soda Streamers) oder die behutsame Gabe von wässrigem, 0,25% Bupivacainhydrochlorid (Lokalanästhetikum aus der Veterinärmedizin: Bucain®, Curasan AG) bestens bewährt. Nach Einsetzen der Narkose können einzelne Tiere wiederum mit der Mundpipette auf einen Objektträger platziert werden. Wir vermeiden die Verwendung von Abstandhaltern für das Deckglas, um einerseits möglichst dünne Präparate zu erzielen, andererseits die Tiere leicht zu drücken beziehungsweise festzulegen. Möchte man die Tiere so über einen längeren Zeitraum am Leben erhalten, wird man von Zeit zu Zeit sehr vorsichtig Wasser oder Narkotikum nachgeben müssen, um die Ver-

dunstungsverluste auszugleichen. Für die Darstellung vor allem der feinen kutikularen Stachel- und Schuppenbildungen der Gastrotrichen ist ein Durchlichtmikroskop mit hochwertigen Objektiven sowie differentiellem Interferenzkontrast (DIK) bevorzugt einzusetzen. Die Mehrzahl der hier vorgestellten Aufnahmen wurde mit DIK-Optik angefertigt.

### Bestimmung

Für eine sichere Bestimmung reicht eine Übersicht der Gastrotrichen wie etwa die im *Wassertropfen* von Streble und Krauter (2002) nicht aus. Für Einsteiger in die Gastrotrichenkunde sei hier auf den sehr guten und aktuellen Gattungsschlüssel von Balsamo und Todaro (2002) hingewiesen, mit dem man zum Beispiel auch die wichtigen Untergattungen des Taxons *Chaetonotus* determinieren kann. Für die Bestimmung von mitteleuropäischen Arten gibt prinzipiell die Arbeit von Voigt (1958) eine gute Anleitung. Allerdings sei angemerkt, dass

**Abb. 1: *Neogosseia voighti*. a** Gesamtes Tier mit Elementen des Verdauungs- und Reproduktionstrakts. Beachte auch die kurzen Stacheln der Schuppen sowie einige ausgeschiedene Kotballen zwischen den Caudalstacheln. **b** Detailaufnahme vom Vorderende. **c** Habitus; deutlich hervortretende Rückendrüsen. **cs** Caudalstacheln, **kt** keulenförmige Tentakel, **md** Mitteldarm, **mr** Mundreuse, **oo** Eizelle, **ph** Pharynx, **rd** Rückendrüsen. **a** und **b** Differentieller Interferenzkontrast (DIK), **c** Hellfeld (HF).



sich seither nomenklatorische und taxonomische Änderungen ergeben haben, sodass der ernsthaft Interessierte wohl kaum ohne die bisher vollständigste taxonomische Bearbeitung der Süßwassergastrotrichen von Schwank (1990) auskommt. Wir möchten darauf hinweisen, dass seitdem neue Arten beschrieben wurden und sich im tropischen Südamerika vor allem auch neue Arten der Neogosseidae und Dasydytidae fanden (Kisielewski, 1991). Wir möchten nicht ausschließen, dass einige dieser Arten in ihrer Verbreitung nur auf die Tropen beschränkt sind.

### **Ausgewählte Vertreter der Neogosseidae und Dasydytidae**

Im Folgenden werden einige ausgewählte Arten der hier behandelten Gruppen vorgestellt. Es werden vor allem Eigentümlichkeiten der Gestalt und Biologie dieser Organismen behandelt, um den besonderen Reiz dieser Tiere nahe zu legen. Vollständige Abhandlungen der Arten können wir hier nicht liefern, da Daten vor allem zur Biologie und zum Verhalten von beinahe sämtlichen Süßwassergastrotrichen schlichtweg nicht existieren – ein weites Betätigungsfeld auch für den engagierten Amateur! Die Nomenklatur und Angaben zu den Erstbeschreibern orientieren sich an Schwank (1990). Die vollständigen Referenzen sind bei Bedarf dort zu entnehmen.

#### **Neogosseidae Remane, 1927**

*Neogossea voighti* (Daday, 1904)

Vertreter der Gattung *Neogossea* sind vor allem an ihrem schuhsohlen- bis flaschenförmigen Habitus zu erkennen, wobei ihr Körperquerschnitt mehr drehrund als abgeflacht ist. Letzteren Körperbau besitzen vor allem die rein benthischen Gastrotrichen. Das wohl eindeutigste Erkennungsmerkmal der Neogosseidae ist aber ohne Zweifel das Paar der so genannten keulenförmigen Tentakeln, wie sie bei der hier vorgestellten *Neogossea voighti* sehr schön zu erkennen sind (Abb. 1a und b, 4a). Innerhalb der Gastrotrichen besitzen nur *Thaumastoderma*- und *Tetranchyroderma*-Arten aus der ausschließlich marinen Gruppe der Macro-dasyida vergleichbare Organe, die bisher nur bei *Tetranchyroderma papii* ultrastrukturell untersucht worden sind (Gagné, 1980). Ob es

sich bei *Neogossea* um vergleichbare Organe handelt, könnte ebenfalls nur eine Untersuchung mit dem Transmissionselektronenmikroskop aufdecken. Schon unter der Stereolupe sind *Neogossea*-Arten an diesen Sensillen sowie durch ihre gleichmäßig schwebende, weit ausladende, schraubige Fortbewegung zu erkennen.

Insbesondere im Durchlicht zeichnet sich zudem der durch die verschiedensten Einschlüsse sehr dunkel gefärbte Mitteldarm deutlich ab (Abb. 1a und c), ein unter den sonst eher hyalinen Schweborganismen, wie etwa den Rotatorien, sehr auffallendes Merkmal. Der Darmtrakt beginnt am Vorderende des Tieres mit einer bizarren, die Mundöffnung umstellenden Reuse aus kutikularen Spangen und Stäben, welche vermutlich der Sortierung beziehungsweise Selektion von Nahrungspartikeln dient. Die räumliche Struktur und der damit eventuell verbundene adaptive Wert dieser Einrichtung lässt sich am besten an für die Rasterelektronenmikroskopie (REM) präparierten Tieren untersuchen (Abb. 4a). Die Defäkation der Nahrungspartikel – es wurden oft Flagellaten als Nahrung festgestellt – erfolgt über den terminal am Hinterende gelegenen After und kann regelmäßig mit dem Durchlichtmikroskop beobachtet werden (Abb. 1a). Der muskulöse Saugpharynx von *N. voighti* besitzt vier Bulben, von denen bei unseren Aufnahmen der hinterste gut zu erkennen ist (Abb. 1a–c).

Am hinteren Körperende befinden sich auf zwei kleinen, warzenförmigen Anhängen jeweils vier, etwa 25 µm lange Caudalstacheln (Abb. 1a). *N. voighti* ist die einzige *Neogossea*-Art, die echte Basisschuppen besitzt, wobei es sehr widersprüchliche Beschreibungen eben dieser Schuppen gibt, so dass eine gründliche taxonomische Überarbeitung dieses Taxons dringend erforderlich ist (Schwank, 1990). Wir konnten bei den von uns als *N. voighti* ausgewiesenen Tieren die Stachelschuppen mit dem REM dokumentieren, und es zeigte sich hierbei, dass sie aus einem abgerundeten proximalen Lappen und zwei sich daran anschließenden, sichelförmigen distalen Lappen bestehen. Aus dem medianen Kiel der Schuppe setzt sich der 3 µm lange Stachel nach distal fort (Abb. 4b). Diese Ausprägung ähnelt am ehesten der Beschreibung von Kisielewski (1974), weicht allerdings in wesentlichen Details ab, so dass hier wohl ein vierter Typ von Stachelschuppen bei *Neogossea* vorliegt (vgl. Schwank, 1990).

Ein weiteres rätselhaftes Organ von *Neogosseia* sind die so genannten Rückendrüsen, die man besonders gut bei Hellfeld-Beleuchtung erkennen kann (Abb. 1c). Diese paarigen, nierenförmigen Strukturen werden traditionell als Drüsen angesehen, wobei wir sie eher als rezeptive Einrichtungen interpretieren. Ob es sich tatsächlich um beispielsweise Lichtrezeptoren handelt, könnten nur entsprechende Experimente sowie genaue elektronenmikroskopische Untersuchungen dieser Gebilde aufdecken. *N. voighti* ist eine wärmeliebende Art und vor allem in humosem Wasser (Braunwasser) zu finden.

### *Dasydytidae* Daday, 1905

*Dasydytes ornatus* Voigt, 1904

Die unterschiedlichen *Dasydytes*-Arten, so auch *Dasydytes ornatus*, zählen wohl zu den bizarren Gastrotrichen des Süßwassers. Schon in der Sortierschale unter der Stereolupe fallen die gewaltigen Stacheln auf, welche der gleichmäßig und ruhig schwimmende *D. ornatus* in acht Paaren von ventrolateralen Bündeln trägt (Abb. 2a und b). Diese so genannten Großstacheln können aktiv bewegt werden und dienen wohl der Steuerung des Tieres

(Schwank, 1990). Interessant sind die kurz vor dem distalen Ende inserierenden Nebenspitzen sowie das zweispitzige Ende dieser kutikularen Bildungen (Abb. 2b).

Der Körper von *D. ornatus* ist spindelförmig. Der breit-ovale Kopf, den das Tier beim Schwimmen leicht nach unten geneigt hat, ist vom übrigen Rumpf durch eine Verengung in der Pharynx-Region deutlich abgesetzt (Abb. 2a). Das hintere Ende, welches noch ein weiteres Paar von Großstacheln trägt, ist stumpf abgestutzt. Die Körperdecke weist bis auf die bereits genannten Großstacheln keine weiteren Bildungen auf, sondern ist von einer glatten Kutikula bedeckt.

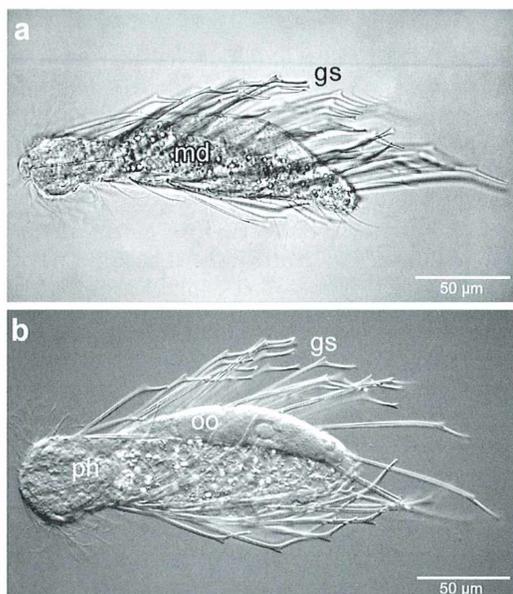
Der Pharynx von *D. ornatus* weist im Gegensatz zur zuvor behandelten *Neogosseia*-Art keinerlei Bulbus-Bildungen auf, ist aber caudal leicht aufgetrieben (Abb. 2a). Die Mundreuse ist auch wesentlich schwächer ausgebildet und stellt eher eine kurze Röhre mit Längsverstrebungen dar. Der relativ voluminöse Mitteldarm mündet caudal im terminalen After. In seine Wandzellen sind zahlreiche lichtbrechende Körper eingeschlossen, die dem Darm allerdings einen weit weniger starken Kontrast geben, als es bei *Neogosseia voighti* der Fall ist (Abb. 2a).

*D. ornatus* hält sich vor allem schwebend über Faulschlammschichten von eutrophen, verkrauteten Kleingewässern auf. Aufgrund dieser pelobiontischen Lebensweise dürfte er sich, wie wohl alle *Dasydytes*-Arten, von Bakterien ernähren. Hierzu existieren aber keinerlei gesicherte Befunde. Dringend müssten Untersuchungen das genaue Nahrungsspektrum von wichtigen Gastrotrichenarten aufdecken, um auch ihre Rolle im Nahrungsnetz von aquatischen Ökosystemen besser zu verstehen. Man vermutet ohnehin, dass Gastrotrichen ein wichtiges Bindeglied zwischen einem benthisch-mikrobiellen Kreislauf und dem übrigen benthischen Nahrungsnetz darstellen (Balsamo und Todaro, 2002).

Das hier vorgestellte Tier trägt eine reife Eizelle in sich, die alleine einen Großteil des Körpers ausfüllt. Im DIK-Verfahren tritt der große Zellkern des Eis deutlich hervor (Abb. 2b).

*Dasydytes (Setodytes) tongiorgii*  
 (Balsamo, 1982)

Eine weitere interessante, wenn auch wenig bekannte Gruppe der Dasydytidae stellt die Untergattung *Setodytes* Schwank, 1990 dar.



**Abb. 2:** *Dasydytes ornatus*. a Habitus, Lateralansicht (HF). b Habitus, von dorsal, Tier leicht gepresst (DIK). Großstacheln mit Nebenspitze sowie Doppelspitzen am distalen Ende. gs Großstacheln, md Mitteldarm, oo Eizelle, ph Pharynx.

schlamm und einem dichten Bewuchs mit *Lemna* gefunden. Von der Lebensweise, etwa dem Nahrungsspektrum, ist auch hier fast nichts bekannt.

### Ausblick

Wir hoffen, mit der Vorstellung einiger ausgewählter Vertreter der Neogosseidae und Dasydytidae das Interesse an dieser kleinen, wenig bekannten und beachteten, von ihrer Morphologie und Biologie her aber hochinteressanten Tiergruppe geweckt zu haben, und mit den methodischen Hinweisen das nötige Rüstzeug mitzugeben, um diese sonderbaren Tiere selbst aufzuspüren, zu untersuchen und nicht zuletzt sich an ihrer Schönheit zu erfreuen.

Was bei den Besprechungen der einzelnen Arten immer wieder auffällt ist, dass es noch zahlreiche ungeklärte Fragen im Zusammenhang mit diesen Tieren, ja sogar in Bezug auf die gesamten Gastrotrichen gibt. So weiß man nur sehr wenig über die spezifischen Ansprüche an das Habitat wie etwa die bevorzugten chemischen und physikalischen Parameter, das Nahrungsspektrum oder Fraßfeinde dieser Tiere. Auch ist die weiter oben bereits erwähnte systematische Stellung vorrangig der benthischen Gastrotrichen als Bindeglied zwischen dem mikro- und dem meiobenthischen Nahrungsnetz (Balsamo und Todaro, 2002) keineswegs empirisch belegt.

Eine neuere Untersuchung hat neben vielen benthischen Arten auch bei mehreren Vertretern der Dasydytidae gezeigt, dass hier bei einigen Individuen zu bestimmten Zeiten rudimentäre Hoden mit stark vereinfachten Spermien nachzuweisen sind (Weiss, 2001). Diese Befunde stellen endgültig die vormals angenommene universelle Verbreitung der rein parthenogenetischen Fortpflanzung bei Süßwassergastrotrichen in Frage. Wie diese männlichen Gameten allerdings in den Reproduktionszyklus eingreifen, wie die Lebenszyklen der einzelnen Arten überhaupt aussehen, ist noch völlig unbekannt und eröffnet ein weites Feld der Forschungstätigkeit.

Zuletzt sei noch darauf hingewiesen, dass bei Feldstudien in Binnengewässern des tropischen Südamerikas zahlreiche neue Gastrotrichenarten entdeckt wurden, darunter auch zahlreiche neue Arten der Dasydytidae wie etwa eine Art der neu aufgestellten Gattung *Ornamen-*

*tula* mit skulpturierten Kutikularplatten oder eine weitere Art aus dem bis dahin rätselhaften Neogosseidae-Taxon *Kijanebalola* (Kisielewski, 1991). Auch wir haben hier im nordwestdeutschen Tiefland Tiere aufgefunden, welche sehr wahrscheinlich neue Arten repräsentieren, die einigen der aus Südamerika beschriebenen Arten sehr stark ähneln. Die Beschreibung dieser neuen Formen steht noch aus und wir sind uns sicher, dass auch hier im „alten Europa“ noch weitere unbekannt Arten auf ihre Entdeckung warten.

### Literaturhinweise

- Balsamo, M.: Three new gastrotrichs from a Tuscan-Emilian Apennine lake. *Boll. Zool.* 49, 287–295 (1982).
- Balsamo, M., Todaro, M. A.: Gastrotricha. In: Rundle, S. D., Robertson, A. L., Schmid-Araya, J. M. (eds.): *Freshwater meiofauna: biology and ecology*, pp. 45–61. Backhuys Publishers, Leiden 2002.
- Gagné, G. D.: Ultrastructure of the sensory palps of *Tetranchyroderma papii* (Gastrotricha, Macro-dasyida). *Zoomorphologie* 95, 115–125 (1980).
- Kisielewski, J.: Nowe dla Fauny Polski gatunki Brzuchorzeszkow (Gastrotricha) slodkowodnych. *Badania Fitzj. Nad Polska Zach.* 27, 103–111 (1974).
- Kisielewski, J.: Inland-water Gastrotricha from Brasil. *Annales Zoologici* 43, *Supplement* 2, 1–168 (1991).
- Kreutz, M., Foissner, W.: The *Sphagnum* ponds of Simmelried in Germany: A biodiversity hot-spot for microscopic organisms. *Protozoological Monographs* 3, 1–267 (2006).
- Krievanek, R. C., Krievanek, J. O.: A new species of *Stylochaeta* (Gastrotricha) from Louisiana. *Transactions of the American Microscopical Society* 78, 77–81 (1959).
- Remane, A.: Gastrotricha. In: Bronn, H. G. (Hrsg.): *Klassen und Ordnungen des Tierreiches*, S. 1–242. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1936.
- Schwank, P.: Gastrotricha. In: Schworbel, J., Zwick, P. (Hrsg.): *Süßwasserfauna von Mitteleuropa*, Band 3, Gastrotricha und Nemertini, S. 1–252. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1990.
- Streble, H., Krauter, D.: *Das Leben im Wassertropfen*. Frankh-Kosmos Verlag, Stuttgart 2002.
- Voigt, M.: Gastrotricha. In: Brohmer, P., Ehrmann, P., Ulmer, G. (Hrsg.): *Die Tierwelt Mitteleuropas*, Band 1, Urtiere – Hohltiere – Würmer, S. 1–74. Quelle & Meyer, Leipzig 1958.
- Weiss, M. J.: Widespread hermaphroditism in freshwater gastrotrichs. *Invertebrate Biology* 120, 308–341 (2001).

*Verfasser:* Alexander Kieneke und Ole Riemann, AG Zoosystematik & Morphologie, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften, Fakultät V, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 26111 Oldenburg, E-Mail: akieneke@senckenberg.de

# Mikrofossilien aus dem Nusplinger Plattenkalk

Joachim Hormann

**Anfang des 19. Jahrhunderts baute ein Nusplinger Bauer Kalkplatten als Baumaterial für den Eigenbedarf im Bereich des Westerbergs ab. Dieses Gebiet gehört heute zum Verwaltungsbezirk Zollern-Alb-Kreis der westlichen Schwäbischen Alb. Der Tübinger Geologe A. Quenstedt wurde 1839 auf diesen Fundort aufmerksam. Er fand eine reiche Fossilführung in einem Plattenkalk vor, der dem Solnhofener Lithografiestein sehr ähnlich ist.**

**D**er Traum von der Verwendung des Nusplinger Plattenkalks ebenfalls als Lithografiestein erfüllte sich nie richtig. Vor wenigen Jahren wurde allerdings eine entsprechende feinkörnige Schicht gefunden; doch da war das Zeitalter des kommerziellen Steinbruchs schon lange vorbei.

## Im Reich der Meerengel

Über Jahrzehnte hinweg wurden in diesem Gebiet nach wie vor Kalkplatten als Baumaterial gebrochen, bis 1993 das Staatliche Museum für Naturkunde Stuttgart mit wissenschaftlichen Grabungsarbeiten in zwei Steinbrüchen begann und seither Aufsehen erregende Funde gemacht hat, unter anderem den über einen Meter langen Meerengel, eine rochenähnliche Haifischart.

Im Jahre 2005 ist der geologische Lehrpfad *Im Reiche der Meerengel* eingerichtet worden, der die Nusplinger Schwamm-Rifflagune umzieht. Weniger bekannt ist, dass diese Geologie auch für den Mikroskopiker etwas zu bieten hat. Im gesamten Bereich der Rifflagune ist allerdings das Graben beziehungsweise Entnehmen von Material nicht gestattet. Als Ausgleich hat die Gemeinde Nusplingen aber einen kleinen Steinbruch, den so genannten Klopflatz, zur Verfügung gestellt (Abb. 1). Alle Proben stammen von dort beziehungsweise von einem handgroßen mergeligen Kleinstaufschluss an einer Wegböschung kurz nach dem Ortsausgang von Nusplingen.

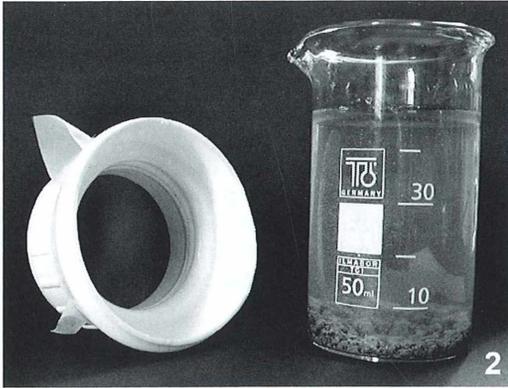
## Das Aufbereiten der Proben

Das lockere, mergelhaltige Material wird in einem kleinen Becherglas in ein handelsübliches

Ultraschall-Gerät gestellt. Es ist notwendig, dünnwandiges Laborglas zu verwenden. Dicke Wandungen absorbieren die Ultraschallwellen zu stark. Ich verwende ein kleines Gerät, das normalerweise zum Brillen-Reinigen eingesetzt wird. Da es nach drei Minuten automatisch abschaltet, muss man in der Regel mehrere Zyklen hintereinander schalten, mit einer Pause von jeweils 5 Minuten zur Abkühlung des Geräts. Einerseits sollen die Objekte möglichst sauber sein, andererseits können Ultraschallwellen natürlich auch zerstören. Das kann in unserem Falle eine Gratwanderung sein. Hier hilft nur eigenes Probieren. Das Aufkochen in 15% Wasserstoffperoxid (falls kein Labor-



**Abb. 1:** Die Schichtung des Plattenkalks im kleinen, aufgelassener Steinbruch "Klopflatz" in der Nähe Nusplingens. Sowohl die Platten selbst als auch das weiche Füllmaterial der Spalten können aufbereitet werden.



**Abb. 2:** Wenig Material in ein kleines Becherglas geben, das in das Ultraschall-Reinigungsgerät passt. Selbstgebasteltes Mini-Sieb mit 56 µm-Gaze.

abzug zur Verfügung steht, nur im Freien mit Gummihandschuhen und Schutzbrille!) brachte keine anderen Ergebnisse.

Der Rückstand wird über einem selbst gebastelten kleinen Sieb ausgegossen, das mit 56-µm-Planktongaze bespannt ist (Abb. 2). Danach den Siebinhalt vorsichtig, aber ausgiebig unter dem Wasserhahn durchspülen.

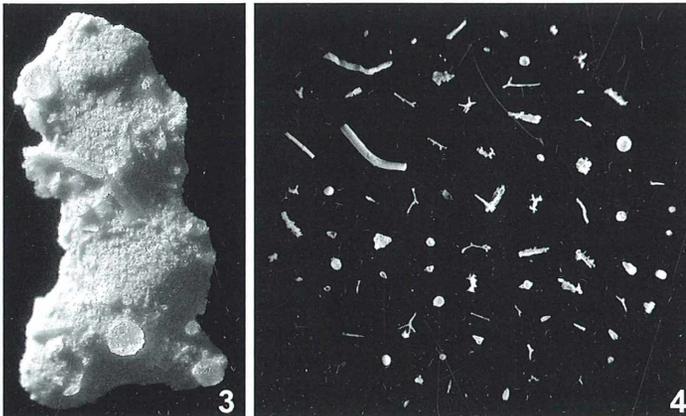
Bei den harten Plattenkalken, die hauptsächlich verkieselte Organismenreste enthalten, ist ein anderes Vorgehen günstiger. Eine kleine Menge des Gesteins wird mit möglichst viel 5%iger Essigsäure übergossen und über Nacht stehen gelassen. Danach hat sich der meiste Kalk in Kohlensäure aufgelöst. Hierzu kann man ruhig die billige Haushalts-Essigessenz (25%) verwenden und 1:4 verdünnen. Eventuell muss

man diese Prozedur nochmals wiederholen. Der Rückstand wird auch hier gut durchgeschlämmt. Die oft empfohlene 5%ige Salzsäure zerstörte in meinen Proben offenbar auch die Mikrofossilien.

### Das Präparat

Die Fossilendichte im Plattenkalk, wie auch in den Nusplinger Mergelproben, ist nicht besonders hoch. Nach dem Trocknen des Materials im Sieb und vorsichtigen Ausklopfen über einer Glasplatte lege ich die Fossilien unter dem Binokular mit einem ganz feinen Pinsel oder einer Legeborste auf einen mit Klebgrund versehenen Objektträger (Abb. 4).

Ich verwende den Gelatine-Klebgrund für Diatomeen, wie er unter anderem auch bei Göke (1994) beschrieben wird. Danach wird vorsichtig angehaucht, um die kleinen Fossilien auf dem Objektträger zu fixieren. Man kann den Klebgrund für diesen Zweck mit etwas mehr Gelatine ansetzen, allerdings darf die aufgetragene Klebeschicht nicht so dick sein, dass die Objekte beim Anhauchen zu tief einsinken. Beides ist möglich: Sowohl in Balsam eingeschlossen als Durchlichtpräparat, aber auch in Luft für die Auflichtbetrachtung. Oder man verwendet gleich Franke-Zellen, in die man die Fossilien lose einlegt oder auch aufklebt. Ein Aufkleben auf das anschließend umzudrehende Deckglas erübrigt sich in der Regel, da die Objekte meist mit schwächeren Objektiven betrachtet werden. Einige Beispiele heraus geätzter Objekte finden sich in den Abbildungen 5 bis 10.



**Abb. 3:** Ein mit Essigsäure angeätztes Plattenkalk-Fragment, 0,9 mm lang. Die Mikrofossilien sind in diesem Stadium zu erkennen. – Abb. 4: Nach Essigsäure-Behandlung; Übersichtsaufnahme mit Objektiv 2,5×. Schwammnadeln, Bryozoen-Bruchstücke, Foraminiferen, Radiolarien-Steinkerne. Gelegtes Präparat.

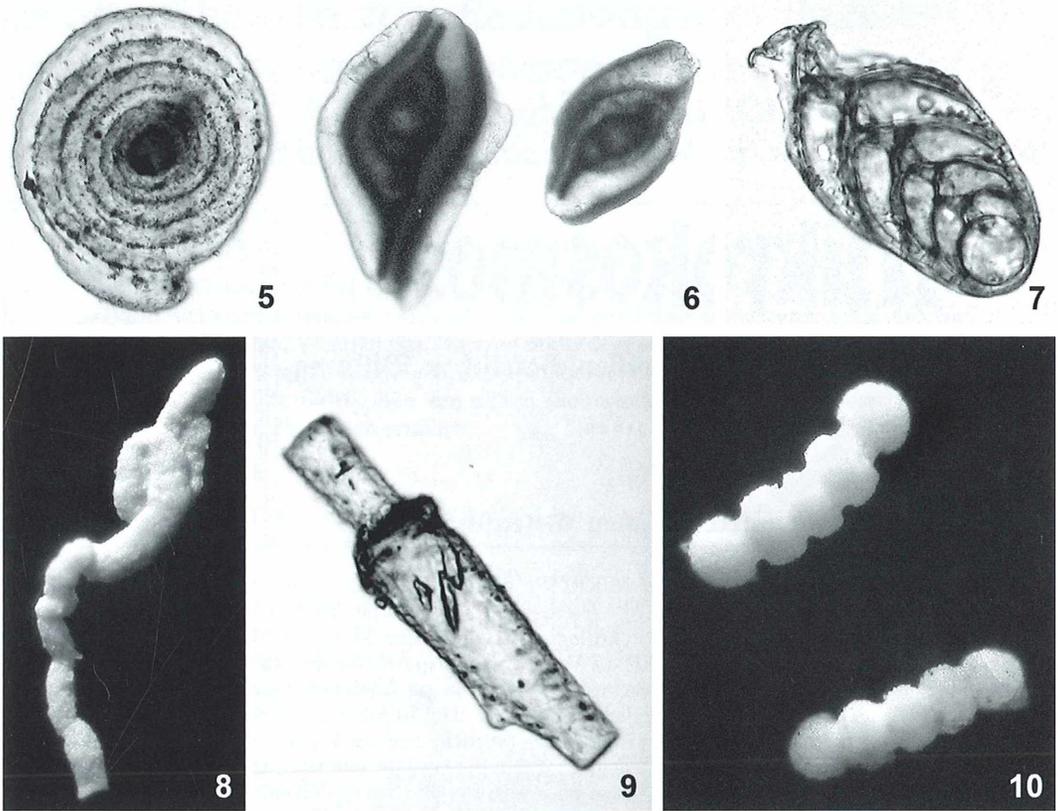


Abb. 5–7: Foraminiferen. – Abb. 5: *Ammodiscus* spec. 0,18 mm. – Abb. 6: *Fronicularia* spec. 0,2 bis 0,3 mm. – Abb. 7: *Textularia*-Typ. 0,15 mm. – Abb. 8: Koprolith eines Kopffüßers (*Lumbricaria*). 0,9 mm. – Abb. 9: Organismenreste, hier ein verkieselter Steinkern, die nicht immer leicht zu bestimmen sind.  $\varnothing$  0,15 mm. – Abb. 10: Nach Auskunft von Herrn Dr. Gerd Dietl, Staatliches Museum für Naturkunde, Stuttgart, sind dies Schwammnadeln aus der Gattung *Criccamphytil*.

Die Mikrofossilien des Nusplinger Plattenkalks sind allerdings häufig nicht in einem guten Erhaltungszustand. So stellt sich dies jedenfalls in den mir vorliegenden Proben dar. Die Bestimmung kann deshalb für den Amateur schwierig sein. Doch ist es immer wieder spannend, die Proben zu durchmustern um vielleicht eine der schönen Radiolarien zu finden, wie sie in Zügel et al. (1998) als rasterelektronenmikroskopische Darstellungen zu sehen sind.

#### Literaturhinweise

Göke, G.: Einführung in das Studium der Foraminiferen. Veröffentlichung der Naturwissenschaftlichen Vereinigung Hagen e.V., Hagen 1994.

Riegraf, W.: Callovian (Middle Jurassic) radiolaria and sponge spicules from southwest Germany. Staatliches Museum für Naturkunde, Stuttgart 1986.

Zügel, P., Riegraf, W., Schweigert, G., Dietl, G.: Radiolaria from the Nusplingen Lithographic Limestone (Late Kimmeridgian, SW Germany). Staatliches Museum für Naturkunde, Stuttgart 1998.

#### Internetlink

[www.nusplingen.de/Download/Flyer.jpg](http://www.nusplingen.de/Download/Flyer.jpg)

Verfasser: Joachim Hormann, Arndtstr. 34, 70197 Stuttgart, E-Mail: [Johormann@t-online.de](mailto:Johormann@t-online.de)

# Nachricht

## Der MIKROKOSMOS ist 100 Jahre alt – Und mit ihm auch die Mikrobiologische Vereinigung München



Auf der Titelseite des ersten Heftes des MIKROKOSMOS kann man – wie oben zu sehen ist – lesen, dass unsere Zeitschrift von der Deutschen mikrobiologischen Gesellschaft (DMG) ab dem Jahr 1907 als Vereinsorgan herausgegeben wurde. Es ist wahrscheinlich nicht jedem auf Anhieb klar, dass es sich bei dieser Gesellschaft um die heute immer noch vital existierende Mikrobiologische Vereinigung München handelt.

Im Verlauf der Vereinsgeschichte gab es Höhen und Tiefen, wie sie über einen so langen Zeitraum nicht ausbleiben, insbesondere wenn diese Zeit von Kriegsereignissen und -wirren überschattet ist. So zerfiel während der Kriegsjahre 1914 bis 1918 die DMG aufgrund innerer Zwiste und nicht zuletzt auch wegen des Verlustes des Vereinsvermögens infolge der damaligen Inflation. Damals hatte der Verein überregional im ganzen deutschsprachigen Mitteleuropa über 4.000 Mitglieder.

Die Auflösung dieser Vereinigung bedeutete allerdings nicht das absolute Aus. So wurde im Februar 1923 ein neuer Anfang gesetzt, als 14 Liebhaber und Amateure der Mikroskopie sich im Münchener Raum zusammenfanden und unter dem Namen Mikrobiologische Vereinigung München (MVM) das weiterführten, was man seinerzeit in der Satzung der DMG als Vereinszweck festgelegt hatte, nämlich ... *vor allem den Gebrauch des Mikroskopes volkstümlich zu machen, die Kenntnis der kleinsten Lebewesen und des feinsten Baues der Pflanzen und Tiere dem allgemeinen Verständnis zu erschließen, alle Freunde des Mikroskops zu gemeinsamer Arbeit zusammenzufassen sowie ihnen zum Austausch ihrer Erfahrungen und Präparate zu verhelfen.* Interessant ist, dass es sich bei dieser lokalen Münchener Neugründung um eine konzertierte Aktion handelte. Denn im selben Monat entstand in Berlin aus der Märkischen Mikrobiologischen Vereinigung (ge-

gründet 1909) die Freie Vereinigung von Freunden der Mikroskopie. Und eines ihrer Gründungsmitglieder war der Münchner Vereinsvorsitzende, Obersteuerinspektor Ferdinand Rieger.

Details zur bewegten Vereinsgeschichte, die anlässlich der 80-Jahrfeier der MVM zusammengestellt wurden, sind bei Klaus Henkel (1989) nachzulesen. In diesem Jahr nun feiert die MVM das 100. Jahr ihres Bestehens. Die derzeit 50 Mitglieder lassen dieses Datum natürlich nicht wortlos vorüberziehen, sondern würdigen den Beginn der Gesellschaft vor hundert Jahren durch eine Ausstellung an einem exponierten Ort, nämlich im renommierten Münchener Museum Mensch und Natur im großen Seitenflügel des Nymphenburger Schlosses. Dort werden seit dem 20. April bis Ende November auf Schautafeln die heutige Vereinstätigkeit und die Vereinsgeschichte in Wort und Bild dargestellt, und mehrere kurze Videofilme geben Einblick in die Mikrowelt. Mit einem Festvortrag am 29. November, den liebenswürdigerweise Professor Werner Nachtigall (Saarbrücken) in der Aula des Museums halten wird, soll dann das Jubiläumsjahr ausklingen.

### Literaturhinweise

- Henkel, K.: Mikrobiologische Vereinigung München – Die älteste deutsche Mikroskopiker-Vereinigung wird 80 Jahre alt. *Mikrokosmos* 78, 143–144 (1989).
- Henkel, K.: 80 Jahre Vereinsgeschichte. Eine Chronik. Der Mikrobiologischen Vereinigung München e. V. zu ihrem dreifachen Vereinsjubiläum 1989. 76 Seiten, 1989. Herausgegeben von der Mikrobiologischen Vereinigung München e.V.; zu beziehen über: K. Henkel, Auf der Scheierlwiese 13, 86221 Dachau.

# Beobachtungen zum Beutefangverhalten verschiedener amöbophager Pilze der Gattung *Acaulopage* (Zoopagaceae)

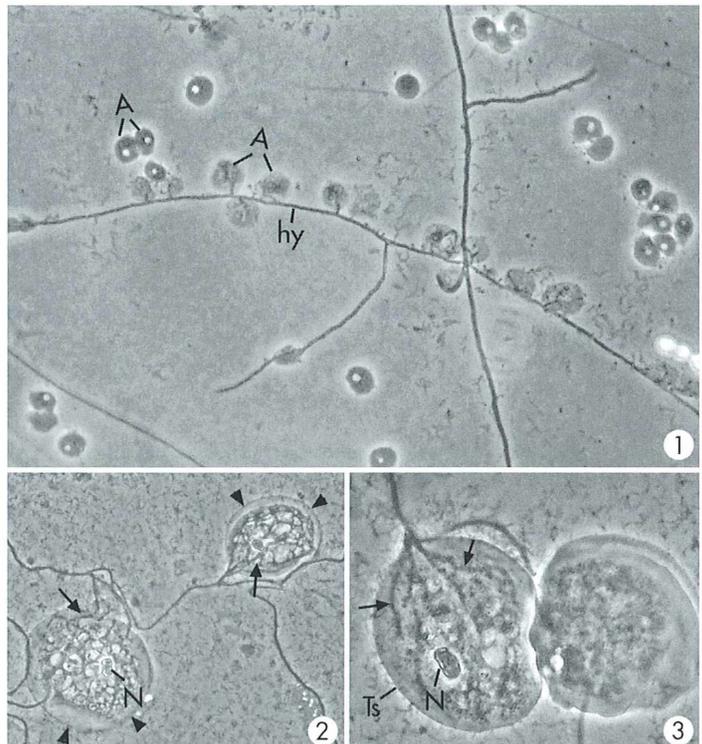
Rolf Michel und Lothar Zöllner

Zum Anzichten von frei lebenden Amöben (FLA) sind Wasserproben aus Oberflächengewässern besonders geeignet, wenn sie zusätzlich Sedimentmaterial des Gewässers enthalten. Wenn dieses Material außerdem einen gewissen Anteil ganz oder teilweise verrotteter Pflanzen enthält, findet man mit hoher Wahrscheinlichkeit *Acaulopage*, das heißt die Hyphen von einem räuberischen Pilz, der sich ausschließlich von diversen Amöbenarten ernährt.

**B**ei Anzucht auf Wasseragarplatten kann man die auf der Agaroberfläche auswachsenden Hyphen der räuberischen Pilze von denen rein saprophytischer Pilze unterscheiden, wenn man entlang dieser Hyphen in unregelmäßigen Abständen abgerundete Amöben in unterschiedlichem Zersetzungszustand findet (Abb. 1). Außerdem sind

häufig einzelne oder mehrere, zum Teil verzweigte Haustorien im Cytoplasma der Amöben zu erkennen. Mit deren Hilfe lähmt und tötet der Pilz die jeweiligen Beutezellen ab, um schließlich den Zellinhalt der abgestorbenen Trophoziten für sein eigenes Wachstum zu verwerten. Durch den raschen Tod und der nachfolgenden Zersetzung erscheinen die

**Abb. 1:** Amöben (A) einer kleinen *Vannella*-Art sind in unregelmäßigen Abständen entlang einer Hyphe (hy) von *Acaulopage* aufgereiht und bereits abgetötet. Vitale Amöben in der Umgebung durch pulsierende Vakuole erkennbar. Phasenkontrast (Phako), Vergr. 350fach. – **Abb. 2:** Zwei von *Acaulopage lasiospora* gefangene und weitgehend zerfallene Trophoziten von *Thecamoeba striata*. In den innerhalb ihrer Pellicula (Pfeilköpfe) geschrumpften Amöben erkennt man die Haustorien (Pfeile), die vom räuberischen Pilz in die Einzeller hineinwachsen. Phako, Vergr. 220fach. – **Abb. 3:** Zwei *T. striata*-Trophoziten (Ts), von denen die linke als Opfer des Pilzes intracytoplasmatische Haustorien (Pfeile) erkennen lässt, während die rechte noch nicht eingefangen wurde. N Kern. Phako, Vergr. 380fach.



Beutezellen meist in einem blassen, kontrastarmen Zustand und sind dann nur noch an der längere Zeit resistenten Pellicula schemenhaft zu erkennen. Das mag ein Grund dafür sein, weshalb diese prädatorenischen Pilze seit den ersten Beschreibungen von verschiedenen *Acaulopage*-Arten durch Drechsler (1942, 1945) so selten beobachtet oder dargestellt werden.

In Isolaten unterschiedlicher Herkunft wurden kürzlich drei verschiedene *Acaulopage*-Arten entdeckt, die hier mit ihrem Verhalten vorgestellt werden. Da in früheren Beschreibungen zwar die Pilze, jedoch nicht die als Beute dienenden Amöben als Spezies identifiziert wurden, war eine Bestimmung der in Original-Isolaten beobachteten Beuteamöben erforderlich. Darüber hinaus wurden einzelnen Vertretern von *Acaulopage* verschiedene, aus der eigenen Kultursammlung stammende Amöbenarten angeboten, um einen Eindruck über den Grad der Spezifität des Beutefangverhaltens zu gewinnen, und um gegebenenfalls eine vorläufige Aussage über ein eventuelles Beutespektrum machen zu können.

## Material und Methoden

Sedimentproben mit teilweise mazeriertem Pflanzenmaterial wurde auf „non-nutrient Agarplatten“ (NNA) nach Page verteilt und bei Zimmertemperatur bei täglicher Inspektion bis zu drei Wochen gehalten. Zeigten sich Hyphen, die mit FLA besetzt waren – was in der Regel nach 4–8 Tagen der Fall war –, wurden entsprechende Agarblöckchen ausgestochen und mit der Oberseite nach unten auf frische Nährböden übertragen. Auf diesen breiteten sich dann die Pilze bei Anwesenheit von genügend Futteramöben nach 5–8 Tagen aus.

## Herkunft der Isolate

*Acaulopage lasiospora* wurde in Proben aus einem Biotopgewässer in Hadert/Rheinland-Pfalz im September 2004 entdeckt. *A. gomphoclada* wurde wiederholt isoliert: Im Juli 2004 aus Proben aus dem Dreifelder Weiher im Westerwald und im März 2006 aus Moos vom Dach eines Wohnhauses in Melsbach bei Neuwied. Diese Funde wurden durch den Zusatz von *Thecamoeba quadrilineata* als Futteramöben begünstigt, welche bereitwillig von den sich entwickelnden Pilzhypphen angenommen

wurden. Der dritte Stamm einer *A. dichotoma*-artigen Spezies stammte aus dem Kloster-See bei Maribo in Dänemark (August 2005).

Die Bestimmung der natürlichen Beuteamöben gelang durch Übertragung und Anzüchtung der meist in genügender Zahl anwesenden Amöbenarten, die sich anfangs außerhalb des räuberischen Hyphennetzes vermehrten.

## Kokultivierungsversuche von *Acaulopage* mit Kulturamöben

Da nach längerer Standzeit die meisten als Beute infrage kommenden Amöben entweder vom jeweiligen Pilz abgetötet oder bei Austrocknung der Platten abgestorben waren – sofern keine Cysten gebildet wurden –, wurden amöbenfreie Agarquader mit Hyphen des prädatorenischen Pilzes auf frische, mit eigenen Kulturamöben (Stämme siehe Tabelle 1) vorgeimpfte Platten verbracht. Diese wurden bis zu drei Wochen beobachtet, um den eventuellen Fang der jeweils angebotenen Amöbenart zu beobachten.

## Beobachtungen

Schon bei relativ geringer Vergrößerung kann man auf der Agaroberfläche (am besten im Phasenkontrast) eine Reihe der durch den prädatorenischen Pilz eingefangenen Amöben erkennen. Sie haften in unregelmäßigen Abständen an den Hyphen (Abb. 1: kleine Vannellen-Art). Bei entsprechender Vergrößerung erkennt man die von den Hyphen ausgehenden, in das Cytoplasma hineingewachsenen Haustorien, die zunächst zur Lähmung und Abrundung der Beutezellen und später zu ihrem Absterben führen (Abb. 2 und 3). Es handelt sich in diesen Aufnahmen im Phasenkontrast um *A. lasiospora*, die 2–5 buschförmige Haustorien in *Thecamoeba striata* versenkt hat, wie man an dem ringförmigen Kern mit peripherer Nucleolarsubstanz erkennen kann. Die unseptierten Hyphen, die nur nach Kontakt mit Amöben auch Haustorien ausbilden, sind farblos und meist wenig verzweigt. Die Länge der Haustorien dieser Art richtet sich nach der Größe der jeweiligen Beutezelle. Den Beutefangprozess kann man also zusammenfassend durch die Begriffe Adhäsion – Immobilisation – Lyse beschreiben. Die für die Artbestimmung unerlässlichen Konidien werden meist erst nach länge-

Tabelle 1: Untersuchung eines Beutespektrums von *Acaulopage*-Isolaten unter natürlichen Bedingungen und nach Kokultivierung mit Amöben aus der eigenen Stammsammlung. + als Beute angenommen, – nicht als Beute erkannt.

Beuteamöben	Stamm	Herkunft	+/-
<b>Amöben als Beute im Original-Isolat</b>			
<i>Thecamoeba striata</i>		siehe <i>Acaulopage</i> -Habitat	+
<i>Dermamoeba</i> sp.		siehe <i>Acaulopage</i> -Habitat	+
<i>Vannella miroides</i>		siehe <i>Acaulopage</i> -Habitat	+
<i>Vannella simplex</i>		siehe <i>Acaulopage</i> -Habitat	–
<i>Thecamoeba terricola</i>		siehe <i>Acaulopage</i> -Habitat	–
<i>Acanthamoeba</i> sp.		siehe <i>Acaulopage</i> -Habitat	–
<i>Saccamoeba</i> sp.		siehe <i>Acaulopage</i> -Habitat	+
<b>Amöben als Beute nach Kokultivierung mit dem Pilz</b>			
<i>Hartmannella vermiformis</i>	Os 101	Leitungswasser im Krankenhaus	–
<i>Naegleria clarki</i> u. a.	NDMLGo	Gartenteich	+
<i>Acanthamoeba castellanii</i>	C3	Trinkwasser-Reservoir	–
<i>Willertia magna</i>	A1,2PWF12	Nil/Ägypten	+
<i>Vannella miroides</i>	DentG1	Zahnärztliche Behandlungseinheit	+
<i>Vannella miroides</i>	Auno	Aufbewahrungsbehälter f. Kontaktlinsen	+
<i>Sappinia diploidea</i>	Busnog	Moos auf gestürzter Buche/Südschweden	–
<i>Sappinia diploidea</i>	Vb	Saaterde	+
<i>Thecamoeba quadrilineata</i>	Dch1	Dachrinne/Haus in Melsbach	+
<i>Saccamoeba simplex</i>	SL-1	Aquarium	+
<i>Saccamoeba simplex</i>	SL-2	Teich in Hardert	+
<i>Dictyostelium discoideum</i>	Berg25	Nasenschleimhaut	–

rer Wachstumsphase des Pilzes auf Kosten der gefangenen Amöben ausgebildet, zum Teil an speziellen fertilen Hyphenzweigen.

### Artbestimmung anhand der Konidien

Während eine morphologische Unterscheidung der verschiedenen *Acaulopage*-Arten anhand der Hyphen und ihrem Verhalten nicht möglich ist, kann man die einzelnen bekannten Spezies anhand ihrer Konidien in der Regel eindeutig identifizieren (Drechsler, 1935, 1945, 1955). Zu diesem Zweck ist es ratsam, die Kulturen oft längere Zeit nach der eigentlichen Wachstumsphase der Pilze zu beobachten, bis schließlich solche Konidien – oft an speziellen fertilen Zweigen – gebildet werden. So konnten bei unseren Beobachtungen kugelige, mit zahlreichen kurzen, noppenartigen Fortsätzen bestückte Konidien von *A. lasiospora* (Abb. 4) von solchen der Arten *A. gomphoclada* (Abb. 5) und einer dritten, *A. dichotoma*-artigen Spezies (Abb. 6) unterschieden werden. Im Gegensatz zu der ersten Art sind die Konidien dieser bei-

den Arten länglich nadelförmig mit zugespitzten Enden. Bei *A. dichotoma*, der unser Isolat ähnelt, verzweigt sich noch eine Seite der mehr lanzettförmigen Kondien, was zur Namensgebung geführt hatte (Drechsler, 1945). Diese Verzeigung ist bei unserem Isolat zudem durch ein Septum vom Hauptast des Konidiums getrennt (Abb. 7), im Unterschied zu *A. dichotoma*, die je ein Septum in den beiden verzweigten Enden erkennen lässt (Drechsler, 1945). Möglicherweise handelt es sich aufgrund der morphologischen Unterschiede um eine bisher nicht beschriebene neue Art. Die Größenangaben für die Konidien findet man in der Legende der Abbildungen 4–6. Nach Kenntnis der Artzugehörigkeit des jeweiligen Mycels konnte man nun auch erkennen, dass beispielsweise die Haustorien von *A. gomphoclada* kürzer, kompakter und weniger verzweigt sind als die von *A. lasiospora* (vgl. Abb. 2 und 3 mit Abb. 8). Da in früheren Artikeln über *Acaulopage*-Arten bei den erbeuteten Amöben immer nur von „nackten Rhizopoden“ oder „gelblichen Amöben von 10–40 µm“ die Rede ist (Drechsler, 1942), wurde es im vorliegenden Fall als Auf-

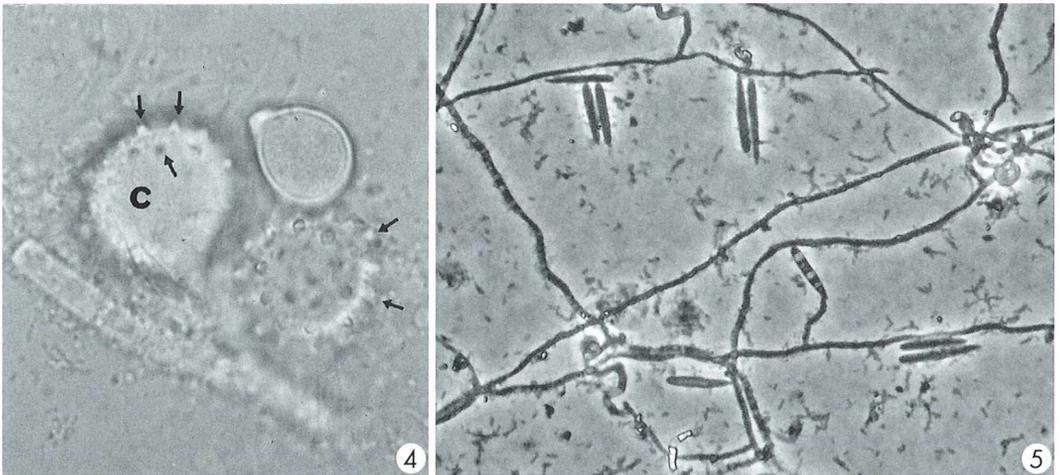


Abb. 4: Zwei reife Konidien (C) von *Acaulopage lasiospora* mit zahlreichen kurzen, noppenartigen Fortsätzen (Pfeile). Oberhalb liegt ein noch nicht ausgereiftes Konidium. Hellfeld-Durchlicht, Vergr. 1100fach. – Abb. 5: Lanzettnadelförmige Konidien (Pfeile) von *A. gomphoclada* im Hyphennetz des räuberischen Pilzes. Länge 17–23,5 µm. Phako, Vergr. 570fach.

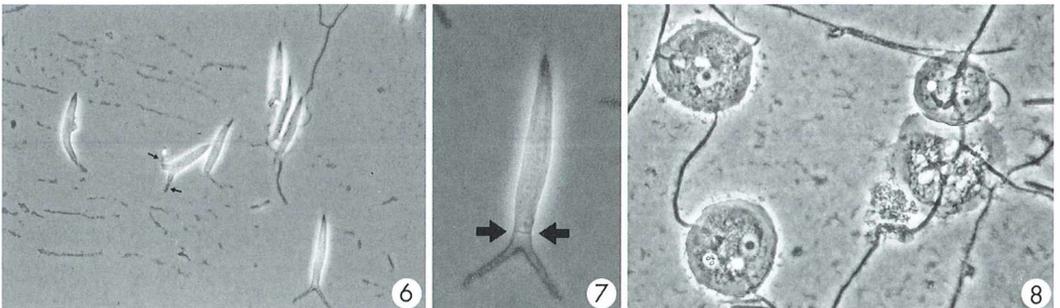


Abb. 6: Einseitig gegabelte Konidien des *A. dichotoma*-artigen Pilzes. Länge des Stammes 34–38 µm, Länge der Fortsätze nach der Verzweigung (Pfeile) 7–11 µm. Phako, Vergr. 240fach. – Abb. 7: Die stark vergrößerte Konidie des *A. dichotoma*-artigen Räubers zeigt die Abgrenzung der Gabelung durch ein Septum (Pfeile). Vergr. 700fach. – Abb. 8: Vier Thecamoeben (*T. quadrilineata*) als Opfer von *A. gomphoclada* mit kurzen, kompakten und wenig verzweigten Haustorien im Unterschied zu den buschförmigen Haustorien der beiden anderen Arten. Phako, Vergr. 230fach.

gabe angesehen, die Natur der als Nahrung erbeuteten Amöben zu beschreiben. So wurden unter den in den Original-Isolaten als Beute erkannten Amöben folgende Arten bestimmt: *Saccamoeba limax*, *Dermamoeba* sp., *Thecamoeba striata* sowie *Vannella miroides* und anderen Vannellen. Dagegen wurden niemals – selbst in Arealen auf der jeweiligen Agarplatte mit dichtem Netz von Fanghyphen – *Thecamoeba terricola*, *Vannella simplex* oder Acanthamoeben gefangen oder abgetötet.

Diese Beobachtungen ließen den Schluss auf eine gewisse Selektivität der Prädatoren zu und motivierten zu Kokultivierungsversuchen mit weiteren Stämmen unterschiedlicher Gymnamoebae beziehungsweise mit einem Stamm sozialer Amöben (*Dictyostelium*-Stamm, Berg25) aus unserer Sammlung. Auch bei diesen Ansätzen zeigten die *Acaulopage*-Hyphen eine Selektivität in ihrem Beutefangverhalten, indem sie bereitwillig folgende Kulturamöben annahmen: *Naegleria clarki*,

*Willaertia magna*, *Vannella miroides* (2 Stämme), *Thecamoeba quadrilineata*, *Saccamoeba limax* (2 Stämme) und *Sappinia diploidea* (Stamm Vb aus Erde). Dagegen wurden von den Pilzen wiederum Acanthamoeben, *Hartmannella vermiformis*, der *Sappinia*-Stamm Busnog sowie *Dictyostelium* (Mycetozoa) als mögliche Beuteorganismen ignoriert. Als weiteres Ergebnis dieser Kokultivierungen mit verschiedenen Amöbenarten zeigte sich, dass *Vannella*-Stämme (mit Ausnahme von *V. simplex*) und Saccamöben am besten geeignet für eine kontinuierliche in-vitro Kultur waren. Wegen Ihrer größeren Robustheit wurde den Saccamöben noch der Vorzug vor den Vannellen für eine Dauerkultur gegeben.

Da die experimentelle Zugabe nur jeweils einer Amöbenart nicht den tatsächlichen Bedingungen in der Natur entspricht, wo die räuberischen Pilze meist auf Mischpopulationen verschiedener Arten treffen, wurde in einem Ansatz eine Mischung von Naeglerien und Vannellen zu gleichen Teilen zugesetzt. Diese Amöbenarten lassen sich leicht unterscheiden und dies nicht nur aufgrund ihrer Größen. Es zeigte sich, dass *A. lasiospora* fast ausschließlich Vannellen als Opfer auswählte, obwohl Naeglerien in genügender Zahl verfügbar waren. Diese ausgeprägte Präferenz der räuberischen Pilze für bestimmte Amöbenarten war überraschend und regt weitere Beobachtungen und ähnliche Versuchsanordnungen an.

## Diskussion

Im Gegensatz zu den länger bekannten amöbophagen Pilzen, gibt es umgekehrt bekanntlich mycophage Amöbenarten, die sich von Hyphen und Konidien verschiedener Pilze ernähren (Old, 1977, 1978; Anderson und Patrick, 1978), indem sie deren Zellwand perforieren und in die Zellen penetrieren, um den Zellinhalt des Opfers aufzunehmen. Solche Vorgänge wurden bereits von Hülsmann (1983) und Röpstorf et al. (1993) bei Angehörigen der Vampyrelliden als Prädatoren von Pilzen näher dargestellt.

Im vorliegenden Falle handelt es sich also offensichtlich um obligat amöbophage Pilze, die unser Interesse fanden, da wir erst kürzlich einen echten endoparasitischen Pilz, *Cochlonema euryblastum*, isoliert hatten (Michel, 1999; Michel und Wylezich, 2005).

Erstmalig wurden nun auch die Amöbenarten identifiziert, die in den Original-Isolaten von *Acaulopage* eingefangen und abgetötet wurden, um den Zellinhalt mittels der verzweigten Haustorien aufzunehmen.

Ein Teil von Kulturamöben, die den Pilzen zur Abklärung eines möglichen erweiterten Beutespektrums angeboten wurden, dienten den räuberischen Pilzen ebenso als Nahrung wie die ursprünglich angetroffenen Arten. Neben der offensichtlichen Selektivität für bestimmte Beutearten wurde in einem Fall auch eine Präferenz einer Amöbenart (*Vannella* sp.) gegenüber einer zweiten (*Naegleria* sp.) beobachtet. Auf welchen Faktoren Selektivität und eventuelle Präferenzen beruhen, ist zurzeit noch Gegenstand von Spekulationen. Möglicherweise sind spezifische Lektine (Zucker-bindende Proteine) für die Adhärenz von Amöben in ähnlicher Art und Weise verantwortlich, wie es bereits für die spezifische Adhärenz von Nematoden an Hyphen nematophager Pilze durch Lektine beschrieben wurde (Rosenzweig et al., 1983).

Die ökologische Bedeutung dieser Räuber-Beute-Modelle lässt sich daran ermesen, dass in einigen Versuchsansätzen sämtliche, in gleichmäßiger Verbreitung auf der Agarplatte vorkommenden Amöben den Pilzen zum Opfer fallen. Die Amöbenpopulation ist also stark gefährdet beziehungsweise stirbt aus. Im Gegensatz zu amöbophagen Pilzen ist die ökologische Bedeutung nematophager Pilze Gegenstand zahlreicher Untersuchungen (Übersicht: Wang and Scorley, 2003). Wegen der vermeintlich größeren ökologischen Bedeutung nematophager Pilze und vermutlich auch wegen ihrer leichteren Verfügbarkeit aus Stammsammlungen ist ihre taxonomische Zuordnung innerhalb der Zygomycota im Gegensatz zu amöbophagen Pilzen bereits molekularbiologisch untermauert. Lediglich die phylogenetische Stellung des echten pilzlichen Endoparasiten bei Thecamöben, *Cochlonema euryblastum*, wurde kürzlich zum ersten Mal untersucht (Köhler et al., zur Veröffentlichung eingereicht). Da es bisher nur gelungen ist, die Kultur des *A. dichotoma*-artigen Isolats mit einer Saccamöben-Population als Reinkultur zu erhalten, könnte zunächst dieser räuberische Pilz als geeignetes Objekt für eine molekularbiologische Untersuchung dienen, um die bisherige taxonomische Zuordnung zu den Zoopagaceae innerhalb der Zoopagales zu bestätigen oder zu verwerfen.

**Literaturhinweise**

- Anderson C., Patrick, Z. A.: Mycophagus amoeboid organisms from soil that perforate spores of *Thielaviopsis basicola* and *Cochliobolus sativus*. *Phytopathology* 68, 1618–1626 (1978).
- Drechsler C.: New species of *Acaulopage* and *Cochlonema* destructive to soil amoebae. *Mycologia* 34, 274–297 (1942).
- Drechsler C.: Several additional Phycomyces subsisting on nematodes and amoebae. *Mycologia* 37, 1–31 (1945).
- Hülsmann, N.: On the penetration of algal cell walls during the attacks by vampyrellids. *J. Protozool.* 30, 50 (1983).
- Köhler, M., Michel R., Wylezich, C., Lugauer, J., Walochnik, J.: Molecular identification and classification of *Cochlonema euryblastum*, a zoopagalean parasite of *Thecamoeba quadrilineata*. *Mycologia* (submitted).
- Michel, R.: Befall einer *Thecamoeba quadrilineata*-Population mit einem pilzartigen Endocytobionten. *Mikrokosmos* 88, 109–112 (1999).
- Michel, R., Wylezich, C.: Beitrag zur Biologie und Morphologie von *Cochlonema euryblastum*, einem endoparasitischen Pilz von *Thecamoeba quadrilineata*. *Mikrokosmos* 94, 75–79 (2005).
- Old, K.M.: Giant soil amoebae cause perforation of conidia of *Cochliobolus sativus*. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 68, 272–320 (1977).
- Rosenzweig, W. D., Ackroyd, D.: Binding characteristics of lectins involved in the trapping of nematodes by fungi. *Appl. Environ. Microbiol.* 46, 1093–1096 (1983).
- Röpstorf, P., Hülsmann, N., Hausmann, K.: Karyological investigations on the vampyrellid amoeba *Lateromyxa gallica* Hülsmann 1993. *European Journal of Protistology* 29, 302–310 (1993).
- Tanabe, Y., O'Donnell, K., Saikawa, M., Sugiyama, J.: Molecular phylogeny of parasitic Zygomycota (Dimargaritales, Zoopagales) based on nuclear small subunit ribosomal DNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 16, 253–262 (2000).
- Wang, K.-H., Mc Scorley, R. (2003): Nematophagous fungi. IFAS/University of Florida, in: <http://agroecology.ifas.ufl.edu/nematophagous%20fungi/Beneficial%20Soil%20fungi.htm>

*Verfasser:* Dr. Rolf Michel, Wiedhöhe 2, 56581 Melsbach, und Prof. Lothar Zöller, Abt. für Mikrobiologie, Institut für Wehrmedizin der Bundeswehr, Andernacher Straße 100, 56070 Koblenz

## Kurze Mitteilung

### Riboswitche

Das Entstehen der Widerstandsfähigkeit (Resistenz) von Mikroorganismen gegen Heilmittel (Antibiotika) ist eines der großen Probleme der Bekämpfung von Infektionskrankheiten. Die Entdeckung der Riboswitche gibt aber neue Perspektiven. Man findet Riboswitche bei vielen Bakterien. Es handelt sich dabei um Segmente der Ribonukleinsäure, um Stücke der messenger-RNA, die innerhalb der Zellen die Instruktionen für die Synthese spezifischer Proteine liefern. Typischerweise antworten die Riboswitche auf die Konzentration bestimmter Verbindungen, welche die Zelle benötigt. Auf diese Weise kontrollieren die Riboswitche die Expression von Genen, die notwendig sind für die Synthese dieser Metabolite. So haben beispielsweise viele Bakterien Riboswitche, die mit der Aminosäure Lysin reagieren. Hat die Zelle ausreichend Lysine, so kommt es zu einer strukturellen Änderung, die das erste Enzym für die Lysin-Synthese blockiert. Riboswitche hat man in Pflanzen und Tieren gefunden, bis-

lang aber noch nicht im Menschen. Das ist bedauerlich, denn man erwartet, dass diese RNA-Segmente besonders gute Angriffspunkte für die Entwicklung neuer antibakterieller Stoffe sind, die durch die Bindung an Riboswitche wirksam werden. So war man bereits in der Lage, die Synthese von Lysin in *Bacillus subtilis* zu unterbrechen und auf diese Weise dessen Wachstum zu hemmen. Bislang hat man bereits drei verschiedene Verbindungen gefunden, welche das Wachstum von Mikroorganismen hemmen, indem sie auf den Lysin-Riboswitch wirken.

**Literaturhinweis**

- Cunningham, A.: Switch hitters. Antibacterial compounds target new mechanism to kill microbes. *Science News* 171, 22 (2007).

# Ostrakoden – Bewohner unterschiedlichster aquatischer Habitats

Siegfried Hoc

In den meisten Gewässern leben Ostrakoden (Muschelkrebse). Die Artdiagnose der über 12.000 Arten ist Spezialisten vorbehalten. Da aber viele der überwiegend weniger als einen Millimeter messenden Tiere bestimmte Lebensräume bevorzugen und zumindest die am häufigsten vorkommenden Arten auch noch durch Form und Färbung ihrer beiden Schalen (= Carapax) charakterisiert sind, ist es auch dem limnologisch interessierten Mikroskopiker möglich, diese Formen bei schwacher Vergrößerung zu bestimmen.

Der deutsche Name der wissenschaftlich als Ostracoda (abgeleitet vom griech. ostrakon = Schale) bezeichneten Krebstiere ist Muschelkrebse. Beide Bezeichnungen beziehen sich also auf das muschelartige Gehäuse, das von dem zweiklappigen Carapax gebildet wird, der den Weichkörper vollständig umschließt. Wie bei den Muscheln werden die beiden verkalkten Klappen durch ein elastisches Band im Schlossbereich geöffnet und durch ungefähr in der Körpermitte liegende Schließmuskeln geschlossen.

Mehr als 12.000 rezente Arten der kleinen Krebse sind bisher bekannt und mehr als 20.000 fossile Arten wurden bisher beschrieben. Die meisten der heute lebenden Arten sind nur um einen Millimeter lang. Nur ganz wenige marine Arten werden deutlich größer, so der im Ozean in 200 bis 4000 m Tiefe lebende *Gigantocypris muelleri*, der mit seinem beinahe kugelförmigen, kirschröten Schalenpaar annähernd drei Zentimeter Körpergröße erreichen kann. Die kleinsten Vertreter leben im Sandlückensystem (Interstitial) von Gewässern oder im Grundwasser und messen nur rund 0,2 Millimeter. Eine solche Süßwassergattung ist *Nannocandona*. Die bisher kleinste marine Ostrakoden-Art mit 0,23 mm Länge wurde bei Helgoland in Planktonproben entdeckt: *Microcythere minuta*.

## Morphologische und andere Besonderheiten

Eine morphologische Besonderheit der Ostrakoden ist die reduzierte Zahl der Extremitäten.

Im Gegensatz zu allen anderen Crustacea sind – einschließlich der beiden Antennenpaare – höchstens sieben Extremitätenpaare vorhanden (Abb. 1). Eine weitere Besonderheit: Trotz ihrer geringen Größe besitzen Süßwasser-Ostrakoden sehr große Spermatozoen. Diese können um ein Mehrfaches länger sein als die Tiere selbst. Bei *Platycypris spec.* aus Australien sind die Spermien etwa 1 cm lang und damit die längsten im Tierreich. Bei *Pontocypris*-Arten, die im Meer leben und bis 0,82 mm lang werden, sind die Spermien rund 8 mm lang. Die Spermien des Menschen messen dagegen nur circa 0,062 mm! Der Genitalapparat der Tiere ist dementsprechend kompliziert gebaut. Er ist neben der Morphologie der Schalenklappen und der Extremitäten taxonomisch wichtig. Einige marine Arten der Gattung *Cypridina* son-

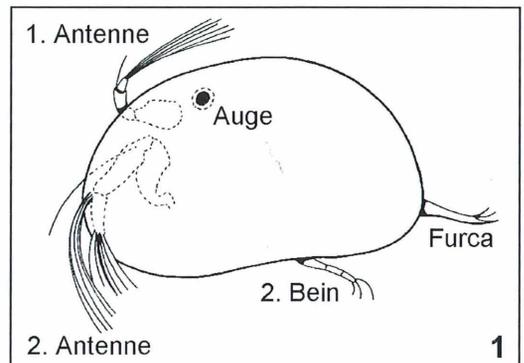


Abb. 1: Anatomie der Ostrakoden.

dern in ihren großen Oberlippendrüsen ein Leuchtsekret ab. Es enthält wie bei den Glühwürmchen Luziferin und Luziferase und leuchtet, wenn es ins Wasser gelangt, mit einem sehr hellen, himmelblauen Licht. Beim nächtlichen Schwimmen im Meer ist dieses Phänomen sicher schon Manchem aufgefallen. Getrocknete und pulverisierte Tiere kann man durch Befuchten wieder zum Leuchten bringen.

Muschelkrebse weisen nicht nur eine sehr hohe Diversität auf, sie besiedeln auch alle aquatischen Lebensräume von der Tiefsee bis in die Gezeitenzone, von der polaren Region bis in die Tropen, vom offenen Ozean über das Brackwasser bis in die Flüsse, Seen und Grundwasser, je selbst hypersaline und thermale Gewässer. Auch in semiterrestrischen Lebensräumen wie in Phytohelmen (Wasseransammlungen an Pflanzen) und sogar unter feuchten Blättern können bestimmte Arten vorkommen: Arten der Gattung *Terrestrialythere* tragen einen Wasserfilm mit sich und dringen auf das Land

vor. Manche leben im Plankton (wie die *Cypridina*- und *Cyclocypris*-Arten), manche im Nekton (an der Unterseite der Wasseroberfläche) wie *Notodromas monacha*, die meisten jedoch im Endo- und Epibenthos, also am Boden der Gewässer. Dazu gehören zum Beispiel *Darwinula stevensoni*, der im Oberflächensediment wühlt, oder *Candona*-Arten, die darauf kriechen. Einige Taxa haben sich auf das Phytal (Zone der Wasserpflanzen) spezialisiert. Dazu gehören Arten der Gattung *Metacypris*. Manche Ostrakoden leben räuberisch, andere als Aasfresser oder Filtrierer. Die meisten Arten ernähren sich jedoch von Mikroalgen und Detritus.

### Spitzenstellung im aquatischen Ökosystem

Wenn die kleinen Muschelkrebse in hoher Individuenzahl auftreten, besitzen sie einen hohen ökologischen Stellenwert, da sie organische

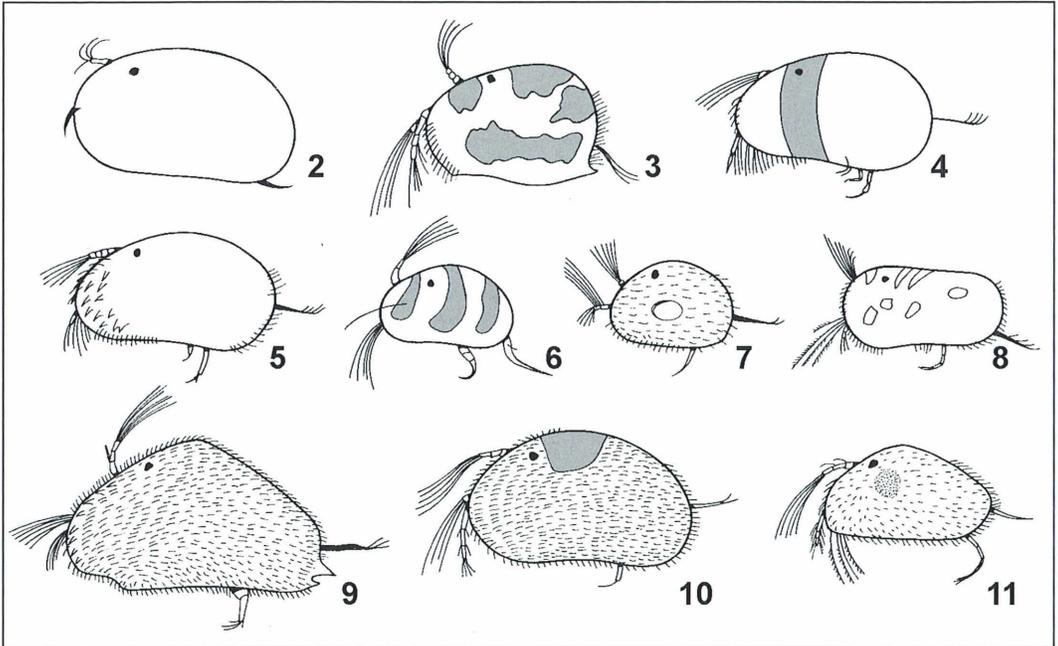


Abb. 2–11: Ostrakoden aus verschiedenen Lebensräumen. – Abb. 2: *Terrestrialythere* spec. – Abb. 3: *Notodromas monacha* (Rückenschwimmer-Muschelkrebchen). – Abb. 4: *Metacypris* spec. – Abb. 5: *Heterocypris* spec. – Abb. 6: *Cypridopsis vidua* (Zebra-Muschelkrebs). – Abb. 7: *Cyclocypris laevis* (Runder Muschelkrebs). – Abb. 8: *Ilyocypris* spec. – Abb. 9: *Cypris pubera* (Grüner Muschelkrebs). – Abb. 10: *Eucypris virens* (Gelbfleck-Muschelkrebs). – Abb. 11: *Cyprocerus* spec. (Frühjahrs-Muschelkrebs).

Substanz wiederverwerten und die Sedimentoberfläche umwühlen. Die höchste Dichte erreichen sie offenbar im oligohalinen Flachwasser. So wurden an der Nordseeküste 1,8 Mio. Individuen/ml gezählt, und in Lagunen der Ostsee sind 100.000 Tiere/m<sup>2</sup> nicht ungewöhnlich. Durch das Massenaufreten bilden die Carapax-Schalen einen hohen Anteil an den Sedimenten. Da sie auch offensichtlich fossil gut erhaltungsfähig sind, sind die Ostrakoden wichtige paläoökologische Indikatoren in der Archäologie geworden. Sie werden ebenso in der Rekonstruktion klimatischer Veränderungen und von Meeresspiegelschwankungen des Quartär-Zeitalters herangezogen. Neben den Foraminiferen sind sie in der Stratigraphie die wichtigsten Mikrofossilien.

### Wo die häufigsten Arten leben

In Ufernähe unter Blättern auf dem Land: *Terrestrialycythere* spec. (Abb. 2). Schale stark verkalkt, Exopodit der 2. Antenne zu einer Spinnborste umgebildet. Schwimmborsten an den Antennen fehlen. Furca zurückgebildet und durch eine Borste ersetzt. Ausschließlich laufende Arten. Länge rund 0,5 mm.

Auf der Unterseite der Wasseroberfläche (Nekton): *Notodromas monacha* (Rückenschwimmer-Muschelkrebsechen, Abb. 3). Schalen an-

deutungsweise fünfeckig, schiefergrau mit weißen Flecken und Streifen. Beide Äste der Furca miteinander verklebt. Weidet die Kahmhaut ab. Länge zirka 1,2 mm.

Auf Wasserpflanzen kriechende Arten: *Metacypris* spec. (Abb. 4). Schalen dunkel mit einer fast schwarzen Querbinde. Länge rund 0,5 mm. – *Heterocypris* spec. (Abb. 5). Nierenförmige, schmutzig-gelbe bis rostbraune Schale. Vorderrand mit Zähnchen und Höckern besetzt. Etwa 1,6 mm lang.

Frei schwimmende Arten im Plankton: *Cypridopsis vidua* (Zebra-Muschelkrebsechen, Abb. 6). Schalen hellgelb bis hellgrün mit drei oder vier dunklen Binden, die senkrecht vom Rücken zur Schalenmitte ziehen. Am Hinterrand befindet sich ein dunkler Fleck. Schwimmborsten beider Antennenpaare auffallend gut entwickelt. Furca zu einer länglichen Geißel verkümmert. Körperlänge circa 0,7 mm. – *Cyclocypris laevis* (Runder Muschelkrebsechen, Abb. 7). Schale dunkelgrün, bei Jungtieren mit kurzen Borsten besetzt. Gut entwickelte Augen, kräftige Antennen mit langen Schwimmborsten. Schale circa 0,5 mm lang. – *Ilyocypris* spec. (Abb. 8). Schale stark verkalkt mit seitlichen Grübchen und Höckern. Schwimmborsten der 2. Antennen sehr lang. Furca-Äste schwach gebogen. Tiere rund 1 mm lang. – *Cypris pubera* (Grüner Muschelkrebsechen, Abb. 9). Schale meist dunkelgrün und dicht beborstet. Am Vorderrand der etwa dreieckigen Schale 9 Zähnchen. Beide Antennen-

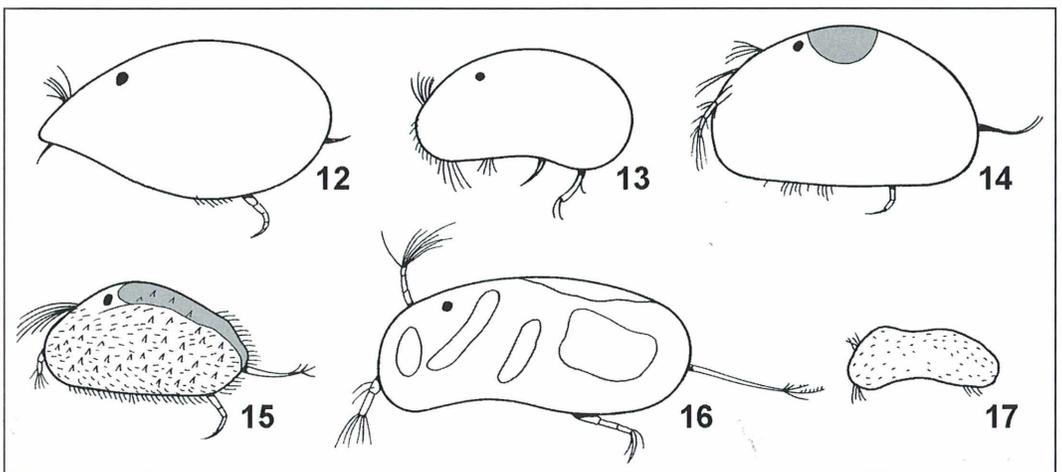


Abb. 12–17: Ostrakoden aus verschiedenen Lebensräumen. – Abb. 12: *Darwinula stevensoni*. – Abb. 13: *Candona candida* (Perlmutter-Muschelkrebsechen). – Abb. 14: *Eucypris acuminata* (Kriechende Bachform des Gelbfleck-Muschelkrebsechens). – Abb. 15: *Cypricerus* spec. (Frühjahrs-Muschelkrebsechen). – Abb. 16: *Herpetocypris* spec. (Schlangens-Muschelkrebsechen). – Abb. 17: *Nannocandona* spec.

paare mit Schwimmborsten. Kräftige Furca. Schalen bis 2,6 mm lang. – *Eucypris virens* (Gelbfleck-Muschelkrebs, Abb. 10). Die beborstete, schmutzig graugrüne Schale besitzt einen gelben Fleck hinter dem Auge. – *Cyprocerus* spec. (Frühjahrs-Muschelkrebs, Abb. 11). Die hell- bis grünlich-gelben Schalen sind mit feinen Härchen besetzt. Unter dem Auge befindet sich ein großer, grauschwarzer Fleck. Beide Antennenpaare mit langen Schwimmborsten. Tiere bis 1,2 mm lang. Nur im April und Mai zu finden.

Auf dem Sediment kriechend und wühlend: *Darwinula stevensoni* (Abb. 12). Die eiförmige Schale ist vorne schmaler als hinten. Exopodit der 2. Antenne bis auf eine Borste zurückgebildet. Rudimentär ist auch die Furca. Länge des Tieres circa 0,75 mm. – *Candona candida* (Perlmutter-Muschelkrebs, Abb. 13). Schalen porzellanartig und weiß. 2. Antennenpaar fünfgliedrig, ohne Schwimmborsten. Furca gebogen mit zwei Endklauen. Tiere bis 1,2 mm lang. – *Eucypris acuminata* (Kriechende Bachform des Gelbfleck-Muschelkrebses, Abb. 14). Wie *Eucypris virens*, aber mit kurzen Schwimmborsten des 2. Antennenpaares. Tiere bis 2 mm lang. Nur im Frühjahr zu finden. – *Cypricercus* spec. (Frühjahrs-Muschelkrebs, Abb. 15). Schalen mit zahlreichen kleinen Wärzchen und braunvioletter Binde am Rücken. Bis 1,5 mm lang. Nur im Frühjahr zu finden. – *Herpetocypris* spec. (Schlangen-Muschelkrebs, Abb. 16). Schalen undurchsichtig, gelb- bis olivgrün, mit dun-

kelgrünen Flecken und helleren Streifen. Tiere lang gestreckt, bis 2,6 mm lang. Schwimmborsten des 2. Antennenpaares rückgebildet. Endklauen der Furca gesägt.

Im Interstitial von Gewässern und im Grundwasser: *Nannocandona* spec. (Abb. 17). Nur etwa 0,3 mm groß, farblos.

### Literaturhinweise

- Kaestner, A.: Lehrbuch der Speziellen Zoologie. Bd. I Wirbellose, 2. Teil (Mandibulata). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1967.
- Streble, H., Krauter, D.: Das Leben im Wassertropfen, 9. Auflage. Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart 2002.
- Hartmann, G.: Ostracoda. In: Bronns, H.G. (Hrsg.): Klassen und Ordnungen des Tierreichs. 5. Bd. (Arthropoda). Gustav Fischer Verlag, Jena 1966 bis 1989.
- Meisch, C.: Freshwater Ostracoda of Western and Central Europe. In: Schwoerbel, P., Zwick, P. (Hrsg.): Süßwasserfauna von Mitteleuropa. Spektrum Akademischer Verlag, Stuttgart 2000.
- Frenzel, P., Boomer, L.: The use of ostracods from marginal-marine, brackish water as bioindicators of modern and quaternary environmental change. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 225, 68–92 (2005).
- Frenzel, P., Matzke-Kavasz, R., Viehberg, F. A.: Muschelkrebse als Zeugen der Vergangenheit. *Biologie in unserer Zeit* 36, 102–108 (2006).

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

## Buchbesprechung

**Quadbeck-Seeger, H.-J.:**  
Die Welt der Elemente –  
Die Elemente der Welt.  
WILEY-VCH Verlag, Weinheim  
2007, 116 Seiten, gebunden,  
€ 15,90,  
ISBN 978-3-527-31789-9, und  
**Quadbeck-Seeger, H.-J.:**  
Das historische Periodensystem  
– Wer hat was entdeckt?  
WILEY-VCH Verlag, Weinheim  
2007, Poster, € 19,90,  
ISBN 978-3-527-31789-9.

Dieses mit viel Liebe zum Detail zusammengestellte Büchlein gibt nach einem 24seitigen Abriss der Historie des Atommodells auf jeweils einer Seite Auskunft darüber, wann welches Element mit welchen

Eigenschaften entdeckt hat. Es schließen sich 26 Seiten an, die auf Aspekte wie „Die Elemente und das Leben“, „Die Elemente in Kultur und Sprache“, „Spiel und Spaß mit dem Periodensystem“, „Chronologie der Entdeckung der Elemente und deren Entdeckungsorte“, „Periodizität und Atomradien“, „Häufigkeit der Elemente“, „Weltproduktion mineralischer Rohstoffe“, „Nobelpreisträger“, „Alternative Periodensysteme“ sowie „Besetzung der Schalen und Orbitale“ eingehen. Eine einseitige Literaturübersicht beschließt das Buch.

Das zeitgleich erschienene Poster zum Periodensystem weicht insofern von den gewohnten Wandtafeln ab, als neben den Abkürzungen der Elemente deren Entdecker mit ihren Lebensdaten dar-

gestellt sind. Es ist primär dazu geschaffen, im Schulunterricht oder anderen Unterrichtsinstitutionen eingesetzt zu werden.

Buch wie Poster sind in einem erfrischenden Layout zusammengestellt, so dass es Spaß macht, sich mit der andernorts vielfach etwas staubig-trockenen dargebotenen Historie zum Periodensystem zu beschäftigen.

Das Buch sollte auf dem Bücherregal eines jeden Chemielehrers, das Poster in jedem Chemiefachraum zu finden sein. Natürlich können beide auch jedem Amateur empfohlen werden, der auf unterhaltsame Art mehr über das Periodensystem lernen möchte.

Wilhelm Wagner, Essen

# Plössl-Mikroskope im Vergleich mit modernen Geräten

Erich Steiner und Peter Schulz

Die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts gilt noch heute als Inbegriff der „guten alten Zeit“. Vom politischen Leben weitgehend ausgeschlossen, zog sich das Bürgertum in eine private Idylle zurück. Nach dem Sieg über Napoleon und dem Wiener Kongress entstand eine bürgerliche, unpolitische Kultur, die Biedermeierkultur. Wien zog bedeutende Persönlichkeiten der Donaumonarchie und des deutschen Sprachraumes an. Viele Anregungen aus dem europäischen Raum gipfelten in großen Leistungen vor Ort, die den kulturellen Glanz der Haupt- und Residenzstadt ausmachten. Theater, Malerei und das Interesse für die Natur erlebten einen Aufschwung. Auch der Keim zum industriellen Zeitalter wurde gelegt, unter anderem durch die Gründung des k.k. Polytechnischen Institutes (heute die Technische Universität Wien) und durch „Zentral-Gewerbs-Produkten-Ausstellungen“ in den Jahren 1835, 1839 und 1845. Durch Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern wurde die technische Optik gefördert. Sie fand mit den Erzeugnissen des Wiener Optikers Simon Plössl (1794–1868) (Abb. 1) einen vorläufigen Höhepunkt. Plössls Geräte zählten damals zu den besten in ganz Europa.

Erst 1869 wurde durch Ernst Abbe bei der Firma Carl Zeiss in Jena die wissenschaftlich berechnete Optik begründet, die eine entscheidende Verbesserung darstellte. Plössls zusammengesetztes achromatisches Mikroskop erreichte bei einer Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte 1829 in Heidelberg den ersten Preis. Es war gleichartigen Instrumenten – zum Beispiel jenen von Amici in Modena, Dollond in London, Fraunhofer in München, Chevalier, Oberhäuser und Selligie in Paris – überlegen. Die Anwendung achromatischer Objektive gehörte im frühen 19. Jahrhundert zu den größten Fortschritten der Mikroskopherstellung. Sowohl zur Entwicklung der Objektive als auch zur Herstellung der Mikroskope hat Plössl ganz wesentlich beigetragen.

## Lebenslauf und beruflicher Werdegang

Simon Plössl stammte aus einer Wiener Handwerkerfamilie. Lesen und Schreiben lernte er bei seinem Vater. Mit 12 Jahren kam er zu einem Drechslermeister in die Lehre. Nachdem er diese absolviert hatte, trat er in ein weiteres Lehrverhältnis ein, weil er Optiker werden wollte. So kam er am 9. Mai 1812 zum be-

kannten Optikermeister Friedrich Voigtlaender, der mehrere Jahre bei Ramsden in London gearbeitet hatte und seit 1807 eine Werkstätte im ersten Wiener Gemeindebezirk betrieb (Martin und Martin, 1983). Dort wurden damals kleine Taschen- und Zirkelmikroskope, aber auch achromatische Linsen für Forschungszwecke



Abb. 1: Simon Plössl (1794–1868) (Österreichische Nationalbibliothek, Wien).

erzeugt. Wahrscheinlich wurden die achromatischen Objektive, die ab 1817 in der Werkstätte produziert wurden und zu den ältesten im deutschen Sprachraum zählen, von Plössl gefertigt. Bis zum 27. November 1823 arbeitete Plössl zunächst als Lehrling und dann als Geselle. Er eignete sich bei Voigtlaender alle Kenntnisse an, die für die Gründung und Führung eines eigenständigen Unternehmens notwendig waren. Vor allem aber lernte er dort seine wichtigsten Förderer kennen: Josef Franz Freiherr von Jacquin, den berühmten Botaniker und Direktor des Botanischen Gartens der Universität Wien, sowie Josef Johann von Littrow, den Astronomen und Direktor der Wiener Universitäts-Sternwarte. Beide ermunterten Plössl, eine eigene Werkstätte zu eröffnen. Auf ihr Anraten besuchte er Kurse für Mathematik und Optik am k.k. Polytechnischen Institut und an der Universität Wien. Plössl legte anschließend die strenge Prüfung für Mathematik und Optik ab. Durch seine neu gewonnenen Kenntnisse konnte er seine optischen Geräte deutlich verbessern. Nach elf lehrreichen Jahren bei Voigtlaender eröffnete er 1823 eine eigene Werkstätte. Dort stellte er Feldstecher, Brillen, Theaterperspektive und aplanatische Lupen her, die nach ihm benannt wurden und großen Absatz fanden.

Plössl arbeitete sowohl mit Vertretern der Wissenschaft als auch mit praktizierenden Optikern sehr gut zusammen und erwies sich als Meister im Bau fein aufeinander abgestimmter Linsenzusammenstellungen. Seine Leistungen sind umso bewundernswerter, wenn man bedenkt, dass die Fertigung von Objektiven damals noch auf bloßem Probieren, dem so genannten Tartonnement oder Pröbeln, beruhte. Optische Künstler wie Plössl gab es zu der Zeit nur wenige. Deshalb reichte der gute Ruf seiner Instrumente weit über die Grenzen Österreichs hinaus.

### **Berufliche Anerkennung**

Die erste öffentliche lobende Erwähnung Plössls findet sich in einem Schreiben von Littrow aus dem Jahr 1826 über die erfolgreiche Herstellung eines Okulareinsatzes (Bancher et al., 1968). 1828 erschien Plössls erste Preisliste, in der bereits sein „Großes zusammengesetztes Mikroskop“ angeboten wurde (Bancher, 1968/69). Die achromatischen Objektive waren dabei noch einzeln erhältlich, wahlweise anzuschrauben oder auf einem scheibenförmigen Objektivrevolver montierbar. Ein solches Gerät wurde

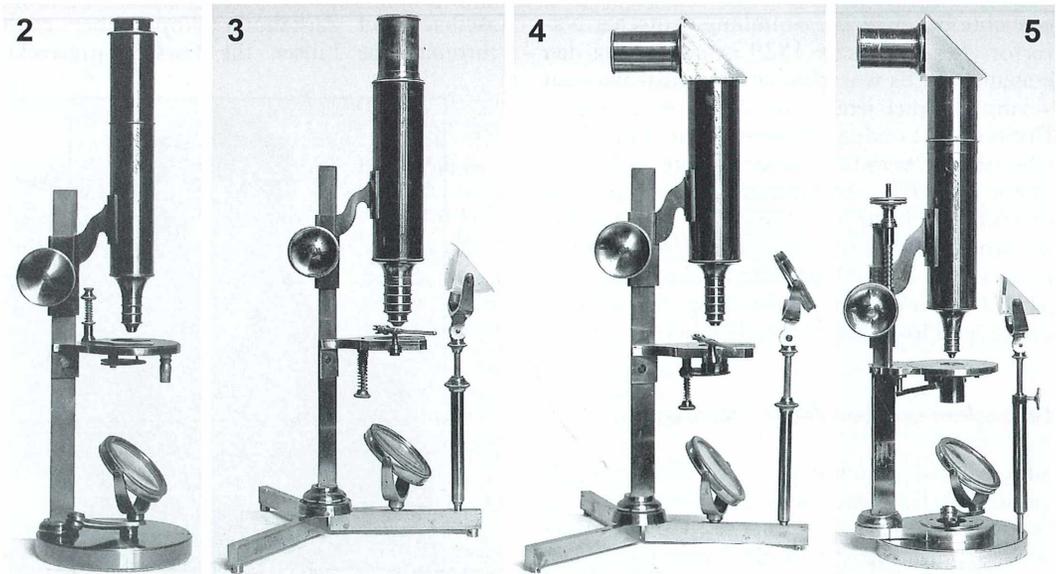


Abb. 2–5: Plössl-Mikroskope A–D (alle Sammlung Kotlan). – Abb. 2: A „Kleiner Rundfuß“; – Abb. 3: B „Kleiner Dreiecksfuß“; – Abb. 4: C „Kleiner Dreiecksfuß“; – Abb. 5: D „Großer Rundfuß“.

aber bis heute noch nicht gefunden. Schon ab 1829 fasste Plössl die achromatischen Einzelobjektive zu den bekannten Zweier- und Dreierkombinationen zusammen und gab den Objektivrevolver auf.

1840 beschäftigte Simon Plössl 28 Arbeiter, 1845 waren es bereits 36. Die Preislisten von damals spiegeln die große Schaffenskraft und den Ideenreichtum Plössls wider, die ihm auch zahlreiche Ehrungen einbrachten. Bei der ersten allgemeinen österreichischen „Gewerbe-Produkten-Ausstellung“ im Jahr 1835 in Wien erhielt er die goldene Medaille, während sein früherer Lehrherr Voigtlaender nur die silberne Medaille erringen konnte. Auch bei der zweiten Gewerbe- und Industrieausstellung 1839 und bei der dritten im Jahr 1845 erhielt er jeweils die Goldmedaille. Die größte Ehre für ihn war jedoch die Verleihung der Goldmedaille für Kunst und Wissenschaft durch Ferdinand, Kaiser von Österreich, im Jahre 1847, die ihm vom Bürgermeister der Stadt Wien überreicht wurde.

### **Das Lebensende**

Plössl litt seit 1836 nach einer Nervenkrankheit an Schwindel und Schwerhörigkeit, was seinen Hang zur Zurückgezogenheit noch verstärkte. Durch einen Sturz mit einer schweren Flintglas-tafel in den letzten Januartagen des Jahres 1868 erlitt der 73-Jährige eine Schnittwunde an der Handwurzel. Dabei wurde auch die Pulsader verletzt. Der starke Blutverlust bewirkte eine große Entkräftung, zu der am nächsten Tag noch Wundbrand hinzukam. Plössl starb am 29. Januar 1868. Mit seinem Tod verlor Österreichs Feinmechaniker- und Optikerzunft einen ihrer hervorragenden Vertreter.

### **Der Gerätevergleich: Alt – Neu**

Um 1850 erzeugte Plössl Mikroskop-Stativ mit rundem Fuß (Abb. 5) statt der alten Modelle mit dreiarbigem Fuß (Abb. 3 und 4). Der Beleuchtungsspiegel wurde mit einem sphärischen Doppelarm für schräge Beleuchtung ausgestattet. Außerdem erzeugte Plössl ab circa 1840 Okulare zum Einstecken statt wie bis dahin solche zum Einschrauben. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts kamen außerdem sowohl Kondensorenlinsen unter der Tischöff-

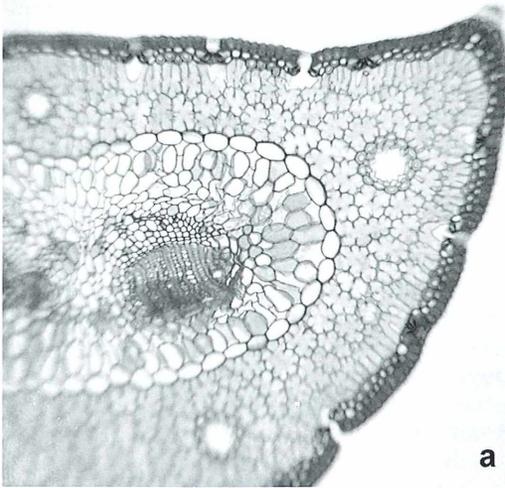
nung der großen Stativ als auch Objektive mit Deckglaskorrektur (Korrektionslinseneinsatz) für stärkere Vergrößerungen zur Anwendung. Die volle Bedeutung der Leistung von Simon Plössl lässt sich am eindrucksvollsten dokumentieren, wenn man die von ihm konstruierten über 150 Jahre alten Geräte im Vergleich mit modernen Optiken testet.

Unsere Untersuchung umfasste Farb-Vergleichsaufnahmen von vier historischen Geräten (Plössl-Mikroskope A–D, alle Sammlung E. Kotlan, Wien; Abb. 2–5) mit Marken-Objektiven neueren Datums (Olympus, Reichert). Unserer Information zufolge ist dies der erste Versuch, einen derartigen Vergleich mit definierten Objekten (Objektmikrometer, Hundefloh, gefärbter Kiefernadel-Querschnitt, Radiolarien-Kreispräparat, Diatomeen-Sternpräparat, Diatomeen-Testpräparat) optisch auszuwerten. Abgebildet und kommentiert ist im Rahmen dieser Publikation nur der mit Astrablau-Safranin gefärbte Kiefernadel-Querschnitt. Die anderen Bildbeispiele sowie ausführliche technische Beschreibungen der vier Plössl-Mikroskope finden sich in den Annalen des Naturhistorischen Museums Wien (Steiner und Schulz, 2006).

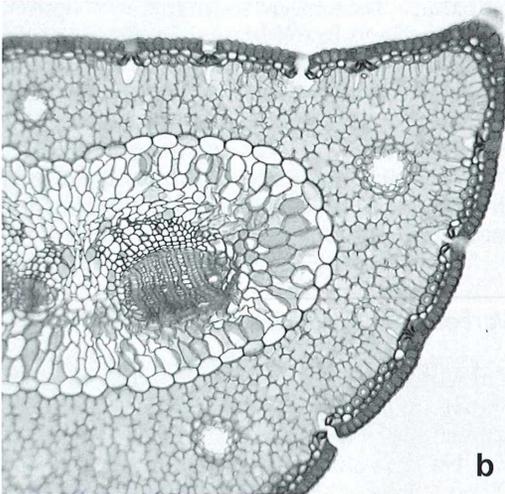
### **Vorbereitende Maßnahmen**

Zur Vorbereitung für die Aufnahmen mussten Stativ und Optiken restauriert und die Gleitbahnen mit neuen Fetten versehen werden. Da wir bei den untersuchten Geräten keine von Plössl empfohlenen Vergrößerungstabellen fanden, mussten wir die sinnvollen Optik-Kombinationen selbst auf ihre Brauchbarkeit prüfen. Weil Plössl die Objektive und Okulare nur mit Nummern versehen hat, war es außerdem erforderlich, die Abbildungsmaßstäbe aller benutzten Objektivkombinationen mit einem Objektmikrometer zu messen. Dieses Objektmikrometer diente nicht nur zur Eichung, sondern wurde außerdem als Vergleichsobjekt genutzt.

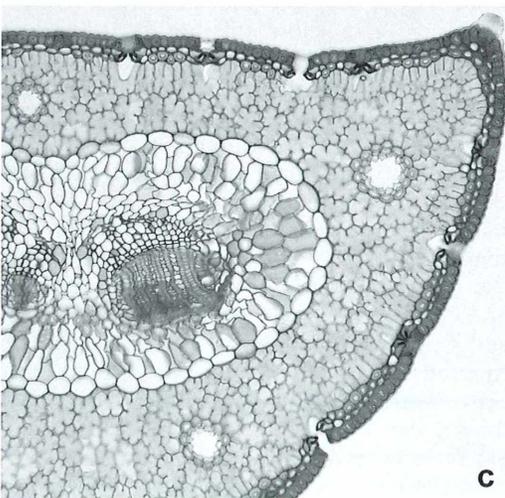
Die unbekanntenen Numerischen Aperturen (n.A.) der von uns verwendeten Einzellinsen und deren Kombinationen wurden mit einem Apertometer nach Metz von der Firma Ernst Leitz Wetzlar gemessen. Die Lupenvergrößerungen der Okulare wurden mit Hilfe einer Mattscheibenprojektion in der deutlichen Sehweite (250 mm) bestimmt.



a



b



c

Bei den Mikrofotos wurde besonders auf folgende Kriterien geachtet:

- möglichst einheitlicher Abbildungsmaßstab
- möglichst einheitliche n. A. des Beleuchtungsapparates (z. B. nur mit Hohlspiegel, Kondensator ohne Frontlinse oder Kondensator mit Frontlinse)
- für alle Aufnahmen gleiche Halogenleuchte bei kritischer Beleuchtung
- gleiches Objektdetail, gleiche Lage im Bild beziehungsweise gleiche Schärfenebene im Objekt

### Verwendete Geräte

Um möglichst gleichartige Bedingungen für die Testaufnahmen zu schaffen, wurden folgende Kombinationen gewählt:

Plössl-Mikroskop D (Abb. 5) bei 210 mm Tubuslänge und Original Plössl-Optik. Gewählt wurde diese Variante aus technischen Gründen (Stabilität des Stativs, Vorhandensein eines Feintriebs); Baujahr um 1850.

Klassisches monokulares Mikroskopstativ (RC, Reichert) und dazu passende achromatische Objektive und Okulare (für 160 mm mechanische Tubuslänge); Achromate der Firmen Reichert beziehungsweise Olympus; Baujahr um 1965.

Klassisches monokulares Mikroskopstativ (RC, Reichert), aber mit Objektiven und Okularen moderner Erzeugung (S-Plan-Apochromate der Firma Olympus); Baujahr um 1990.

### Methode zur Bestimmung der Okularvergrößerung und Aufnahmetechnik

Ein Objektmikrometer (2 mm, geteilt in 200 Teile) wurde mit Hilfe einer starken Mikroskopierleuchte und mit einem Objektiv zur Ei-

**Abb. 6 a–c:** Querschnitt einer Kiefernadel (*Pinus nigra*), Astrablau-Safranin-Färbung. a Objektivkombination Nr. 4 und Nr. 5 von Mikroskop D, n. A. = 0,22, mit Plössl-Okular Nr. 1; gerade Beleuchtung mit Hohlspiegel und Plössl-Kondensator von Mikroskop D. b Reichert Achromat 10/0,25 mit Huygens-Okular 8fach; gerade Beleuchtung mit Abbe-Kondensator. c Olympus S-Plan-Apo 10/0,40 mit Olympus-Okular WHK 10x; gerade Beleuchtung mit Abbe-Kondensator.

chung im bekannten Abbildungsmaßstab 10:1 mit Hilfe des unbekanntes Okulars auf eine Mattscheibe in 250 mm Entfernung projiziert, um die wahre Vergrößerung festzustellen. Die Farbaufnahmen wurden auf Farb-Negativfilm im Format 120 (6 × 6 cm) mit einer Rolleiflex SL66 an einem WILD-Wandstativ durchgeführt. Die Belichtungszeit wurde mit Hilfe des Belichtungsmessers PROFISIX in Verbindung mit dem PROFI-flex der Firma Gossen direkt auf der Suchermattscheibe bestimmt.

Da eine zufrieden stellende gleichmäßige Ausleuchtung des Bildfeldes vor allem mit dem Plössl-Mikroskop nicht zu erzielen war, wurden für sämtliche Aufnahmen Mattscheiben zwischen Beleuchtungslampe und Mikroskop-Spiegel platziert.

### **Bildvergleich: Kiefernadel-Querschnitt**

Plössl-Objektivkombination Nr. 4 und Nr. 5 von Mikroskop D, n. A. = 0,22, mit Plössl-Okular Nr. 1, gerade Beleuchtung mit Hohlspiegel und Plössl-Kondensator von Mikroskop D (Abb. 6a): Deutlich wahrnehmbare Bildfeldwölbung, Schärfe und Kontrast in der Bildmitte jedoch sehr gut ausgeprägt, mit etwas geringerer Auflösung kleiner Details im Vergleich zu den Abbildungen 6b und c; Farbfehler nicht bemerkbar.

Reichert Achromat 10/0,25 mit Huygens-Okular 8×, gerade Beleuchtung mit Abbe-Kondensator (Abb. 6b): Bildfeldwölbung im Vergleich zu Abbildung 6a verbessert, jedoch noch gut wahrnehmbar; Kontrast und Schärfe ebenfalls besser; Detailauflösung in der Mitte besser, Farbfehler kaum bemerkbar.

Olympus S-Plan-Apo 10/0,40 mit Olympus-Okular WHK 10×, gerade Beleuchtung mit Abbe-Kondensator (Abb. 6c): Bildfeldwölbung nicht mehr vorhanden; Kontrast und Schärfe im Vergleich zu Abbildung 6b nochmals gesteigert; etwas geringere Schärfentiefe; Farbwiedergabe leuchtender; kein Farbfehler.

### **Diskussion**

Grundsätzlich ist es als unfairer Vergleich zu bezeichnen, wenn man historische Objektive an so hoch korrigierten Plan-Apochromaten misst. Aber nur aus einem solchen Vergleich ist der wahre Fortschritt im Mikroskopbau seit 160 Jahren ersichtlich.

Im Test wurden die von Plössl erzeugten Objektive und Okulare dem guten Ruf gerecht, den Simon Plössl als Optiker genoss. Die Objektive, die wir für unsere Aufnahmen zur Verfügung hatten, bestanden aus drei bis fünf Gliedern. Die erforderlichen Kombinationen mussten in langwierigen Versuchsanordnungen ermittelt werden, da ein wahlloses Aneinanderreihen der einzelnen Linsenglieder ein sehr schlechtes oder gar kein Bild ergibt. Ein Literaturvergleich (Hölzl et al., 1969) zeigt, dass Plössls Objektive in allen Schaffensperioden Unterschiede aufwiesen, was die erreichten Abbildungsmaßstäbe und die numerischen Aperturen anbelangt. So erreichen die schmalen Objektive Nr. 3 bis Nr. 5 vom Mikroskop C bei einer Eigenvergrößerung von 27× nur eine Apertur von 0,47, während die Objektive Nr. 5 bis Nr. 7 eines „Großen Dreifußes“ (Optisches Museum in Jena, Otto, 1968) mit der Apertur von 0,55 eine Eigenvergrößerung von 35× aufweisen.

Die Qualität der Bilder ist sehr stark objektabhängig. Aus der Anlage und Konstruktion des Beleuchtungsspiegels ist zu ersehen, welcher großen Wert Plössl auf die schräge Beleuchtung und die damit verbundene Steigerung von Kontrast und Beleuchtungsapertur legte. Besonders positiv fällt auf, dass alle Plössl-Objektive chromatisch einheitlich und erstaunlich gut korrigiert sind. Während die chromatische Aberration bei kontrastreichen Objekten in der Bildmitte bei den Achromaten von 1965 nicht mehr bemerkbar ist, sieht man bei Plössl zwar schmale, aber doch erkennbare blaue und gelbrote Farbränder, die nur zum Bildrand hin etwas stärker werden. Die Bildfeldwölbung ist bei Plössl-Objektiven aber deutlich stärker als bei den Achromaten von 1965. Schärfe und Kontrastleistung im Mittelfeld der Bilder kommen sehr nahe an die Achromate von 1965 heran – eine Meisterleistung. Die Auflösung ist immer aperturabhängig, und – soweit die Objekte nicht eine höhere Apertur erfordern – entsprechend gut. Die Farbwiedergabe ist etwas schwächer als bei den Achromaten.

Bei den Mikrofotografien war es äußerst schwierig, mit einem Plössl-Mikroskop eine gleichmäßige Ausleuchtung zu erzielen. Die Unterschiede zu den modernen Plan-Apochromaten sind jedoch in fast allen Parametern – besonders in Kontrast und Auflösung, chromatischer Aberration sowie Bildfeldebahnung – deutlich.

## Danksagung

Wir danken vor allem Prof. Dr. Bernd Lötsch, Generaldirektor des Naturhistorischen Museums Wien (NHMW), auf dessen Initiative hin das beschriebene Projekt gestartet wurde. Außerdem sei der Optikermeisterin Elisabeth Kotlan für ihre großzügigen Leihgaben gedankt, durch die unsere vergleichenden Untersuchungen erst ermöglicht wurden. Weiters gilt unser Dank Mag. Brigitta Schmid (NHMW) für ihre Unterstützung bei der redaktionellen Aufbereitung des Manuskriptes.

## Literaturhinweise

- Bancher, E.: Simon Plössl. Ein Jahrhundert Optik aus Österreich. Katalog zur Ausstellung im Technischen Museum Wien, Wien 1968/69.  
 Bancher, E., Hölzl, J., Kotlan, F.: Georg Simon Plössl. Technikgeschichte 35, 127–147 (1968).

- Hölzl, J., Bancher, E.: Österreichische Mikroskope aus drei Jahrhunderten. Zeitschrift für Mikroskopie 16, 65–83 (1961).  
 Hölzl, J., Bancher, E., Kotlan F.: Simon Plössl (1794–1868), Optiker und Mechaniker in Wien. Blätter für Technikgeschichte 31, 45–89 (1969).  
 Martin de, H., Martin de, W.: Vier Jahrhunderte Mikroskop. Weilburg-Verlag, Wiener Neustadt 1983.  
 Otto, L.: Mikroskope von Simon Plössl (1794–1868) aus der Sammlung des optischen Museums in Jena. Jenaer Rundschau 13, 7–16 (1968).  
 Steiner, E., Schulz, P.: Plössl-Mikroskope – ein Vergleich mit modernen Geräten. Ann. Naturhist. Mus. Wien 107 B, 39–55 (2006).  
 Steiner, P.: Die „Simon Plössl-Medaille“. money trend 31, 62–63 (1999).  
 Waldstein, O.: Der Wiener Optiker Simon Plössl. Deutsch-Österreichische Zentral-Zeitung für Optik und Mechanik 21, 2–4 (1926).

*Verfasser:* OStR Prof. Erich Steiner (Mikroskopische Gesellschaft Wien), Alßmayergasse 11/6, 1120 Wien, Österreich, und OStR Prof. Mag. Peter Schulz (Mikroskopische Gesellschaft Wien), Müllnergasse 33/14, 1090 Wien, Österreich

## Kurze Mitteilung

### Archaea in den Meeren

Über die mikrobielle Diversität in den Ozeanen ist noch wenig bekannt. Eine der größten Überraschungen der letzten Jahre auf diesem Gebiet war der Befund, dass sich in einem Liter Seewasser 1–100 Millionen Archaeen befinden. Die Archaea, ursprünglich Archaeobakterien oder Urbakterien genannt, zählen zu den Prokaryonten. Sie sind äußerlich den Bakterien (Eubakterien) ähnlich, sind jedoch genetisch mit diesen nicht verwandt und unterscheiden sich auch radikal durch einen anderen Zellwandaufbau. Daher werden die Archaea heute als eine dritte Domäne der lebenden Organismen betrachtet.

Archaeen kommen, soweit bekannt, ausschließlich in Extrembiotopen (bei über 100 °C, kein Licht, kein Sauerstoff, hohe Salzkonzentration), so genannten Reliktlebensräumen vor. Sie waren an die Bedingungen im Praekambrium (Endurzeit) optimal angepasst. Trotz ihrer Abundanz (Individuenzahl in einer Raumeinheit) und des weit verbreiteten Vorkommens in den Ozeanen ist ihre Rolle in den biogeochemischen Zyklen weitgehend unbekannt.

Die Zellmembranen der Archaea sind einzigartig; sie können an die Temperatur angepasst werden. In kaltem Wasser wird in die Zellmembran der Archaea Crenarchaeol, ein ungewöhnliches Tetraäther-Lipid, eingelagert. Dieser Signalstoff ist in der Form von fossilen Membranlipiden in Sedimenten erhalten geblieben. Mit deren Hilfe kann man jetzt die früheren Seewasser-Temperaturen rekonstruieren. Daraus ergab sich unter anderem, dass in Perioden sehr hoher atmosphärischer Kohlendioxidkonzentration die Temperatur des Seewassers viel höher war als gegenwärtig.

## Literaturhinweis

- Sinnighe Damsté, J. S.: Oceanen vol archaea: hun rol in de stikstofcyclus en de toepassing in palaeothermometrie van de „boeikasgas“ aarde. Vortrag Abt. Natuurkunde Kon. Ned. Akad. Wet. (Amsterdam), 18.12.2006.

## Der Echte Thymian – Arzneipflanze des Jahres 2006

Rudolf Vöth

Vor einigen Monaten ging eine sicher oft übersehene, weil recht unspektakuläre Nachricht durch die Medien: Der „Studienkreis Entwicklungsgeschichte der Arzneipflanzenkunde“ an der Universität Würzburg hat den Echten Thymian (*Thymus vulgaris*) zur Arzneipflanze des Jahres 2006 gekürt. Für diese Wahl mögen mehrere Gründe ausschlaggebend gewesen sein. Vielleicht wollte das Gremium damit einen Impuls zur Verbesserung der Artenkenntnis geben, um die es heute gerade bei Jugendlichen oft nicht sehr gut bestellt ist – und auch viele Erwachsene kennen Thymian nur als cellophanverpacktes Trockenpulver aus dem Gewürzregal. Vor allem aber sollte wohl die Aufmerksamkeit auf eine äußerlich eher unscheinbare, aber wertvolle und wichtige Pflanzenspezies gelenkt werden, die unsere abendländische Kulturgeschichte in vielfältiger Weise begleitet hat – als Heilmittel, Aphrodisiakum und Gewürz – und auch heute noch zu den bedeutendsten Arzneipflanzen zählt. Der einmal neugierig gewordene Mikroskopiker hat den Vorteil, dass er sich mit dem Echten Thymian nicht nur historisch-kulturgeschichtlich, sondern auch anatomisch-histologisch näher befassen kann.

**T***hymus vulgaris*, auch Garten- oder Gewürzthymian genannt, ist im Mittelmeergebiet, Nordafrika und in Südosteuropa heimisch, in einigen Ländern wird er in größerem Maßstab kultiviert. Der Name Thymus ist schon seit dem Altertum durch Schriftsteller wie Vergil oder Plinius den Älteren bekannt. Er wird einerseits vom griechischen Verb *thyein* abgeleitet, was räuchern oder Rauchopfer bringen bedeutet, andererseits vom Wort *Thymos*, welches Mut oder Kraft bedeutet. Man wusste also um die stark duftenden Inhaltsstoffe und schrieb ihnen auch magische, stimulierende oder aphrodisierende Wirkungen zu. Ägypter und Etrusker sollen mit den konservierenden, keimhemmenden Ölen ihre Verstorbenen einbalsamiert haben. Zu uns gelangte der Thymian, wie auch andere mediterrane Gewürzpflanzen aus der Familie der Lamiaceen, zunächst durch die Römer. Nach der Christianisierung wurde die Pflanze erst in den Klöstern (als *herba thymiana*), dann auch in den Bauerngärten weiter kultiviert. Im 12. Jahrhundert erwähnt Hildegard von Bingen seine wohlthuende Wirkung besonders bei Atemwegserkrankungen. In den folgenden Jahrhunderten bürgerte sich der Echte Thymian dann rasch als Gewürz- und Arzneipflanze allgemein ein. Die Kräuterbücher des 16. und 17. Jahrhunderts

befassen sich alle ausführlich mit seiner Wirkungsweise und seiner Verwendung. Eine frühe, aber vergleichsweise schon recht naturgetreue Holzschnitt-Abbildung findet man zum Beispiel im *New Kreüterbuch* des Leonhart Fuchs von 1543 (Abb. 1).

### Beschreibung der Pflanze

Der Gewürzthymian ist ein kleiner Zwergstrauch, der maximal 50 cm hoch wird und dessen verzweigte Stängel allmählich verholzen. Die Blättchen sind gegenständig, klein, oval, länglich, dunkelgrün, sehr kurz gestielt und am Rand etwas nach unten eingerollt. Ab Juni erscheinen seine rötlichen bis weißen kleinen Blüten, zu deren genauerer Untersuchung bereits eine gute Lupe nötig ist. Sie besitzen eine ungeteilte Oberlippe und eine dreizipflige Unterlippe und stehen in ährenartig erscheinenden Scheinquirlen. Aus den größeren zwittrigen Blüten ragen die zwei längeren der vier Staubblätter heraus (Abb. 2).

Wegen seiner Frostempfindlichkeit überwintert der Echte Thymian nur in geschützten Lagen und kommt bei uns wildwachsend nicht vor. In neuerer Zeit sind aber auch recht winterharte Gartenformen im Handel erschienen. Seine bei

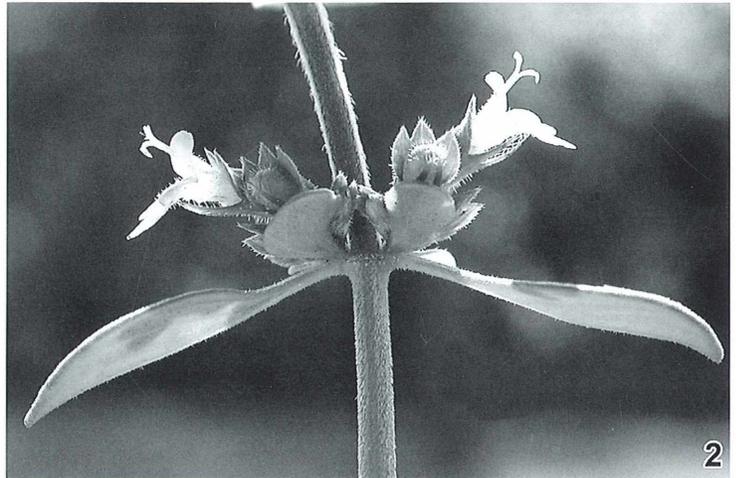
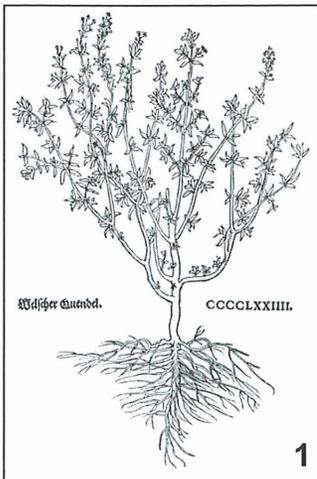


Abb. 1: Thymianpflanze. Holzschnitt aus dem *New Kreüterbuch* von L. Fuchs (1543). – Abb. 2: Blütenstand des Echten Thymians, Detail.

uns schon immer heimischen und ausdauernden Verwandten *Thymus serpyllum* und *Thymus pulegioides* spielen in Küche und Arzneikunde keine so große Rolle. Schon Fuchs (1543) bemerkt in seiner Beschreibung des Echten Thymians: *Der welsch Quendel ist nit lang in unseren landen gewesen, sondern wie andere fremde gewechs / von fleissigen gartnern erstmalig ... gepflanzt worden. Wechst gern an mageren und steinigten orten / so vil sonnen haben.* Er hat damit die ökologische Nische der Art ziemlich genau beschrieben.

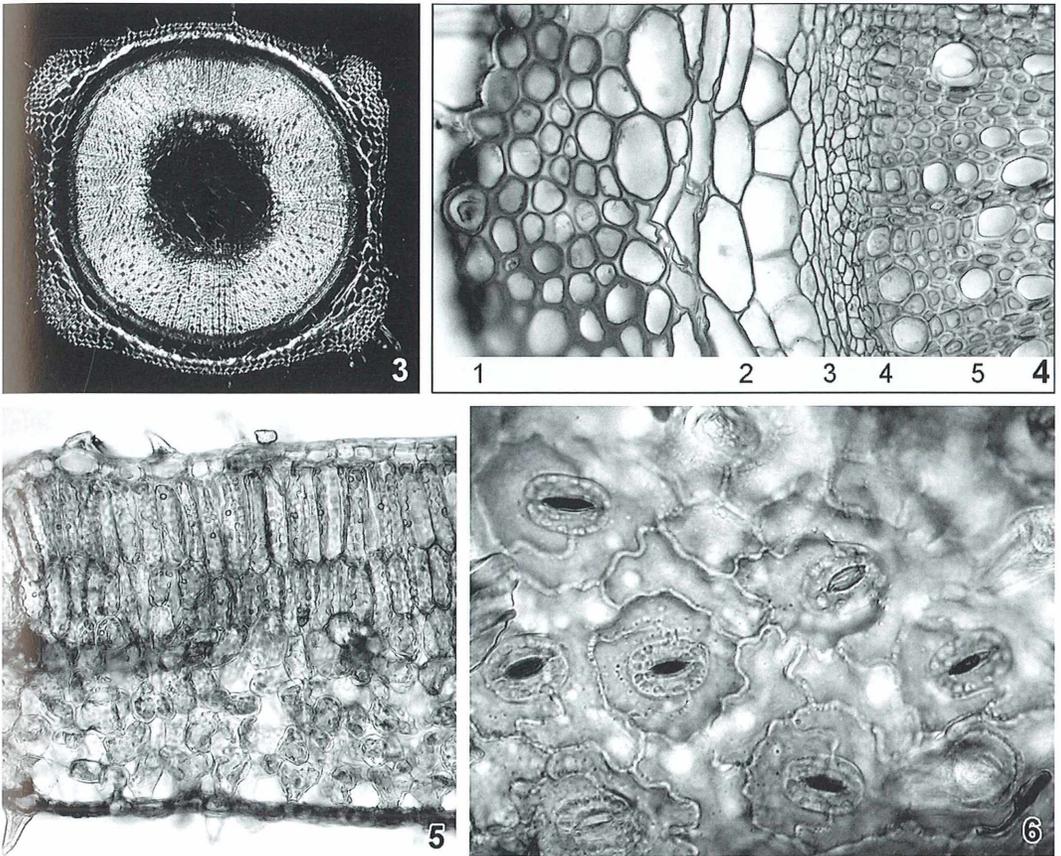
### Mikroskopie von Stängel und Blatt

Wenn man sich im Steingarten oder Kräuterbeet die nur etwa 1 mm Durchmesser aufweisenden, vielfach verzweigten Stängelchen und die zarten, schmalen Blättchen des Thymians genauer ansieht, vermutet man gleich, dass die Gewinnung brauchbarer Handschnitte und die Mikroskopie von Frischmaterial hier nicht ganz einfach sein dürfte – was sich anschließend auch bestätigt. Mit etwas Geduld kommt man aber doch zu brauchbaren und ansprechenden Beobachtungen.

Querschnitte durch die außen noch grünen Stängel unterhalb des Blütenstandes zeigen sofort, weshalb diese Sprosse trotz ihres geringen Durchmessers steif und aufrecht stehen und auch dem Abreißen oder Abschneiden deutlichen Widerstand entgegensetzen. Es liegt näm-

lich um das großzellige Mark herum bereits ein einheitlicher, geschlossener Holzzyylinder vor. Das kleinzelligere und dickwandige Gewebe dieses Holzkörpers sorgt für beachtliche mechanische Festigkeit. Weiter außen schließt sich ein geschlossener Kambiumring an. Auf diesen folgen wiederum das Phloem, die (primäre) Rindenschicht sowie die Epidermis. Der gesamte Stängelquerschnitt erscheint bereits eher rundlich als viereckig, wie es eigentlich für die Lamiales typisch ist. Nur vier deutliche Leisten kollechnymatischen Gewebes markieren noch die ehemaligen Stängelkanten. Im Überblicksfoto eines ganzen Sprossquerschnitts lassen sich die stark verholzten Elemente gut durch Polarisation hervorheben (Abb. 3); für die genauere Betrachtung der Gewebe ist eine stärkere Vergrößerung nötig (Abb. 4).

Dieser Befund zeigt, dass beim Thymian schon frühzeitig das sekundäre Dickenwachstum eingesetzt hat. Den ursprünglichen Bau der primären Sprossachse mit noch sehr deutlich vierkantigem Querschnitt und vier großen ursprünglichen Leitbündeln im Bereich dieser Kanten, die zudem erst relativ wenige verholzte Xylemelemente aufweisen, kann man nur sehen, wenn man die ganz jungen, zarten Sprossabschnitte sehr weit oben, noch im Bereich des Blütenstandes, untersucht. Schnitte durch untere, bodennahe Sprosse mit schon äußerlich deutlicher Verholzung lassen dann auch erkennen, wie die primäre Rinde allmählich durch ein sekundäres Abschlussgewebe ersetzt wird.



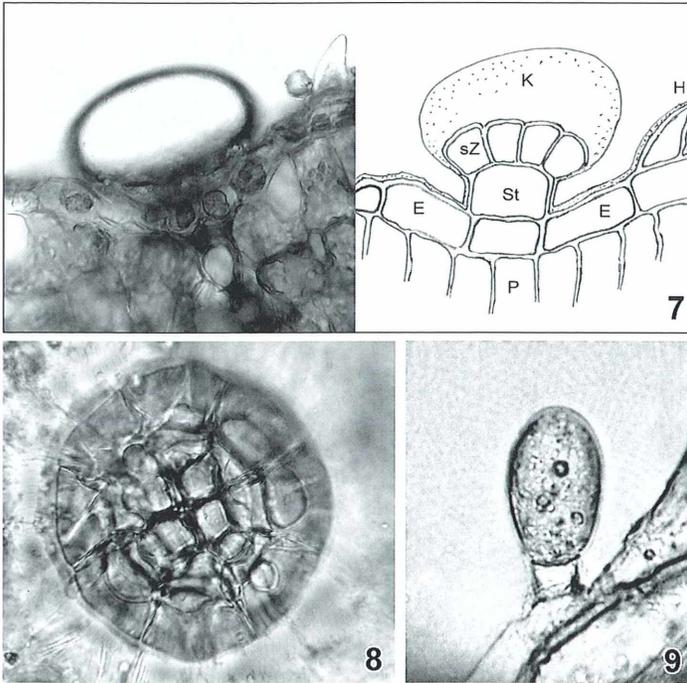
**Abb. 3:** Stängelquerschnitt, Übersichtsaufnahme (Polarisation). – **Abb. 4:** Stängelgewebe: 1 Kollenchym, 2 Rindengewebe, 3 Phloem, 4 Kambium, 5 Xylem, bereits stark verholzt. – **Abb. 5:** Querschnitt durch das Blatt des Thymians. – **Abb. 6:** Spaltöffnungen der unteren Blattepidermis, Aufsicht.

Querschnitte durch die Blättchen zeigen auch histologisch Anpassungen an trockene und helle Standorte. Das Blatt ist bifazial gebaut. Die Zellen der Blattepidermis haben gewellte und verdickte Außenwände, viele tragen dreieckige, kurze und einzellige Haare (Eckzahnhaare). Das Palisadengewebe ist für eine optimale Lichtausnutzung zweischichtig angelegt. Darunter liegt ein lockeres, interzellularenreiches Schwammgewebe (Abb. 5). Spaltöffnungen kommen fast nur auf der Blattunterseite vor. Sie sind nicht eingesenkt. Wenn man die Epidermis mit einer spitzen Pinzette abzieht, um Flächenansichten zu gewinnen, erkennt man, dass diese Spaltöffnungen von zwei polaren Nebenzellen umschlossen sind (diacytische Stomata, Abb. 6). Die Blattleitbündel besitzen zur Unterseite hin eine Kappe aus verholzten

Sklerenchymfasern zur Stütze und zur Versteifung des Blattgewebes.

### **Drüenschuppen und Haarbildungen**

Sowohl an den Blatt- wie auch an den Stängelquerschnitten lassen sich an der Epidermis zahlreiche Haare und Exkretionsorgane erkennen, wie sie für Lamiaceen typisch sind. Besonders auffällig und groß erscheinen die Drüenschuppen; es sind die Hauptorte für die Bildung und Speicherung des ätherischen Öls. Auf einer kurzen Stielzelle sitzen in einer Ebene schildförmig angeordnete sezernierende Zellen. In der Regel sind zwölf (vier innere, acht äußere) solcher Drüsenzellen pro Schuppe vorhanden. Das ätherische Öl, das sie absondern, sammelt sich



**Abb. 7:** Drüsenschuppe in Seitenansicht, Foto und erklärende Skizze: P Palisadengewebe, E Epidermiszellen, St Stielzelle, sZ sezernierende Zellen, H Eckzahnhaar, K abgehobene Kutikula mit ätherischem Öl. – **Abb. 8:** Drüsenschuppe in Aufsicht. – **Abb. 9:** Drüsenhaar mit einzelligem Drüsenköpfchen.

zuerst unter ihrer Kutikula an, die sich dadurch wie eine ballonartige Kuppel abhebt (Abb. 7 und 8).

Bei den Blättern sind die Drüsenschuppen tief in die obere oder untere Epidermis eingebettet. Die Epidermiszellen im Bereich einer Drüsenschuppe haben eine andere, mehr lang gestreckte Form und laufen in einer Vertiefung sternförmig auf die Stielzelle zu. An den Sprossquerschnitten erscheinen die Drüsenschuppen dagegen nicht eingesenkt, sondern der Epidermis außen aufsitzend. Besonders zahlreich sind sie auch auf dem Blütenkelch zu finden. Die genauere Untersuchung der Verhältnisse ist im Frischpräparat nicht ganz einfach, da zum einen das stark lichtbrechende, gelbliche ätherische Öl im subkutikulären Raum die Beobachtung erschwert, zum anderen, weil die Drüsenzellen selbst sehr dünnwandig sind und in älteren Pflanzenteilen ihre Radialwände allmählich aufgelöst werden. Bei zu dünnen Schnitten zerfällt oft die Struktur des ganzen Exkretionsapparats. In der Regel hilft nur geduldiges Fokussieren an günstigen Präparatstellen.

Seltener als die Drüsenschuppen kommen Drüsenhaare mit einem einzelligen Köpfchen vor. Sie sind viel kleiner als die Drüsenschuppen (Abb. 9). Haarbildungen ohne Exkretionsfunk-

tion sind neben den schon genannten kleinen zahnförmigen Eckzahnhaaren auch noch die meist zweizelligen, größeren Kniehaare an Blattunterseite, Stängel und Kelch. Bei ihnen sitzt einer geraden Basalzelle eine weitere, spitze Endzelle in abgewinkelter Lage auf. Zur Betrachtung verfährt man so, dass man mit einer spitzen Pinzette schmale Epidermisstreifen in Längsrichtung des Stängels abzieht (Abb. 10). Dieser Haartyp ist für *Thymus vulgaris* ausgesprochen charakteristisch und wird in der mikroskopischen Drogenanalyse der Pharmazie zur Beurteilung der Echtheit von Trockenmaterial herangezogen. Im Bereich der Blütenkronröhre und des Kelchs findet man lange, mehrzellige Gliederhaare. An den Spitzen des Blütenkelchs sitzen große Borstenhaare in teils bizarrer Anordnung. Man erkennt sie zum Teil schon mit einer stärkeren Lupe (Abb. 11). Oft ist die Kutikula der Haarzellen körnig strukturiert, im Zelllumen finden sich zahlreiche kleine Oxalatkristalle. Man kann vermuten, dass diese Haare einen Verdunstungsschutz und – in Verbindung mit dem ätherischen Öl aus dem Sekundärstoffwechsel der Pflanze – einen wirksamen Fraßschutz ergeben. Schnecken und Raupen machen sich jedenfalls nicht viel aus Thymian.

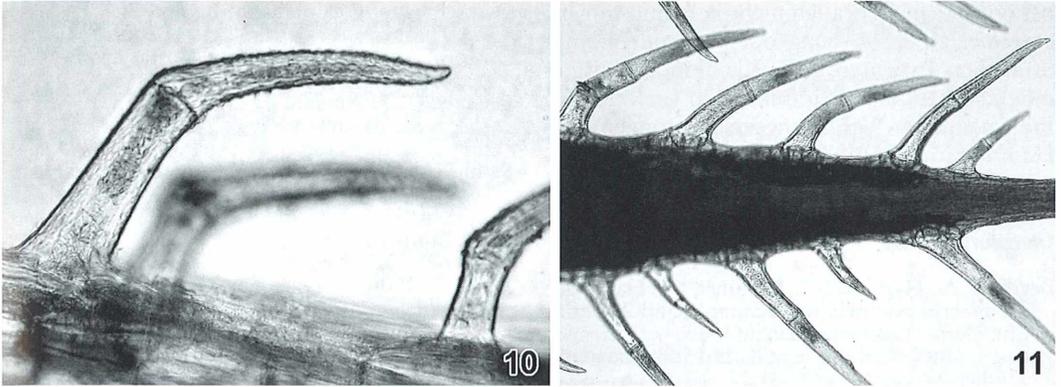


Abb. 10: Knieförmige zweizellige Haare, Stängel. – Abb. 11: Borstenhaare an den Spitzen des Blütenkelchs.

### Ätherisches Öl und Inhaltsstoffe

Für den Menschen waren von jeher dagegen gerade diese Inhaltsstoffe von Interesse.

Zur Drogengewinnung werden die krautigen Pflanzenteile kurz vor Beginn der Blüte abgeschnitten, bei moderaten Temperaturen (unter 35 °C) getrocknet und die Blüten und Blätter vom Stängel getrennt (abgerabelt). Teilweise erfolgt auch noch eine zweite Ernte im Herbst. Blätter und Blüten enthalten 1–2,5% des Trockengewichts an ätherischen Ölen, die Stängelteile sind wirkstoffärmer. Das Öl enthält vor allem Thymol und Carvacrol (phenolische Verbindungen), außerdem Linalool, Cymol, Cineol, weitere Mono- und Triterpene, Flavonoide, Gerbstoffe, Bitterstoffe und antioxidativ wirksame Bestandteile.

Allerdings unterscheidet sich das Wirkungsspektrum je nach Standort (Boden, Höhenlage, Klima) und Erntezeitpunkt. Der Thymian bildet somit verschiedene Chemotypen. Daher kann die beim Zerreiben der Blätter wahrnehmbare Duftnote variieren. Bei unmittelbarer Verwendung des ätherischen Öls selbst, beispielsweise in der Aromatherapie, sollte zur Optimierung der Wirkungsweise zuvor die spezifische Zusammensetzung der jeweiligen Charge genauer analysiert werden.

In der Küche gewinnt Thymian wieder zunehmende Wertschätzung: Während im großen *Handbuch der Lebensmitteluntersuchung* aus den Jahr 1915 von ihm nur lapidar als Würstgewürz die Rede ist, findet er heute vielseitige

und breite Verwendung und gibt vielen Speisen erst den typischen mediterranen Geschmack. Seine Inhaltsstoffe machen fette Speisen bekömmlicher und tragen so unauffällig zur Gesunderhaltung des Verdauungstraktes bei. Thymian ist deshalb Bestandteil in vielen Kräutermischungen und Kräuterlikören. Medizinisch am wichtigsten ist aber die schleim- und krampflösende Wirkung bei Erkrankungen der oberen Luftwege. Schon Fuchs schreibt 1543: *Der Thym mit honig gesotten und getruncken ist bequem und nützlich denen, so keichen und einen schweren atemb haben*. Die Inhaltsstoffe lindern den Hustenreiz, lösen den Schleim, lindern Entzündungen und regen die Tätigkeit des Flimmerepithels an. Außerdem haben sie auch antibakterielle und durchblutungsfördernde Eigenschaften. Darreichungsformen sind zum Beispiel Tees, Salben zum Einreiben, Inhalationspräparate, Badezusätze und Gurgelmittel. Ebenfalls schon bei Fuchs (1543) beschrieben und in der Volks-Frauenheilkunde lange genutzt, ist die günstige Wirkung bei Menstruationsbeschwerden und Zyklusstörungen. Wegen seiner teils Östrogen ähnlichen Substanzen soll der Thymian auch gegen Wechseljahresbeschwerden helfen. Als nachgewiesen gelten seine beruhigende Wirkung auf das Nervensystem und – bei äußerlicher Anwendung – der lindernde Einfluss bei Schmerzen des Bewegungsapparates und die unterstützende Wirkung bei der Behandlung von Hautproblemen. Es handelt sich also wirklich um eine der universellsten Heilpflanzen. Nebenwirkungen sind

bei normalem Gebrauch nicht bekannt; nur bei extremer Überdosierung oder besonders empfindlichen Patienten (z.B. Kleinkindern) ist es möglich, dass die allzu unkritisch verwendeten Inhaltsstoffe zu Vergiftungserscheinungen oder Hautirritationen führen können.

#### Literaturhinweise

Beythien, A., Hartwich, C., Klimmer, M.: Handbuch der Nahrungsmitteluntersuchung, Band 2. Verlag Chr. Herm. Tauchnitz, Leipzig 1915.  
Fuchs, L.: New Kreüterbuch. Basel 1543 (Faksimile: Taschen-Verlag, Köln 2001).

Deutschmann, F., Hohmann, B., Sprecher, E., Stahl, E.: Pharmazeutische Biologie, Drogenanalyse I: Morphologie und Anatomie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1984.

Gassner, G., Hohmann, B., Deutschmann, F.: Mikroskopische Untersuchung pflanzlicher Lebensmittel. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1989.

Stahl-Biskup, E., Reichling, J.: Anatomie und Histologie der Samenpflanzen. Mikroskopisches Praktikum für Pharmazeuten. Deutscher Apotheker Verlag, Stuttgart 1998.

Emmerich, R.: Thymian ist die Arzneipflanze des Jahres 2006. Internet unter <http://idw-online.de/pages/de/news142433>.

Verfasser: Rudolf Väth, Bayernstr. 15, 89287 Bellenberg

## Kurze Mitteilung

### Genom in Bakteriomen

Viele Blattlaus-Arten besitzen in speziellen Organen eine Auswahl von symbiontischen Bakterien. Diese Organe werden Bakteriome und ihre Zellen Bakteriozyten genannt, da sie eine spezielle Bakterienflora enthalten, die je nach der Art der Blattläuse in ihrer Zusammensetzung verschieden sein kann. Diese symbiontischen Bakterien besitzen zwar ein Genom, das jedoch weitgehend reduziert ist. So hat man gefunden, dass die Bakterien *Buchnera aphidicola*, die in den Bakteriomen der Laus *Cinera cedri* lebt, ein weitgehend reduziertes Genom besitzt, das mit nur 420 Kilobasen und nur 362 Genen die Proteine kodiert. Dies ist aber nur etwa 2/3 des Genoms, das *Buchnera*-Arten haben, die in anderen Blattlaus-Arten symbiontisch leben. Die *Buchnera*-Bakterien haben also wichtige Funktionen aus ihrem Genom verloren. Diese fehlenden Proteine werden aber ersetzt von einem anderen Bakterium, *Serratia*, das ebenfalls die gleiche Laus bewohnt. Es ersetzt also gewissermaßen die verlorenen metabolischen Funktionen des mitbewohnenden Bakteriums, also auch der Wirtszellen.

Ein ähnliches Beispiel liefert das endosymbiontische Bakterium *Carsonella*, das im Saft-saugenden Blattfloh *Pachypsella venusta* lebt. Dieses Bakterium entbehrt ebenfalls zahlreiche

Gene, welche für Bakterien-spezifische Prozesse notwendig sind. Es gibt Hinweise dafür, dass die fehlenden Gene aus dem Genom von *Carsonella* auf das Genom des Wirtes übertragen worden sind und jetzt unter Kontrolle des Kerns von *Pachypsella* stehen.

Die intrazelluläre Genomreduktion der endosymbiontischen Bakterien ist ein kontinuierlicher Prozess, der mit der Adaptation an das intrazelluläre, symbiontische Leben zusammenhängt. Der Verlust kann ersetzt werden durch koexistierende sekundäre Symbionten. Die mikroskopische Analyse zeigt beide Typen von kosymbiontischen Bakterien, die durch Färbung mit Toluidin-Blau zu unterscheiden sind.

#### Literaturhinweise

Nakabachi, A., Yamashita, A., Toh, H., Ishikawa, H., Dunbar, H. E., Moran, N. A., Hattori, M.: The 160-kilobase genome of the bacterial endosymbiont *Carsonella*. *Science* 314, 267 (2006).

Pérez-Brocal, V., Gil, R., Ramos, S., Lamelas, A., Postigo, M., Michelena, J. M., Silva, F. J., Moya, A., Latorre, A.: A small microbial genome: The end of a long symbiotic relationship? *Science* 314, 312–313 (2006).

H. F. Linskens, Nijmegen

# **Technische Realisation digitaler Mikrofotografie mit handelsüblichen Consumer-Digitalkameras**

## **Teil 2: Digitale Spiegelreflex-Kameras, Elektronenblitz-Fotografie, zukünftige Entwicklungen**

Jörg Piper

**In vielen, auch professionellen Anwendungsbereichen hat die Digitalfotografie gegenüber der herkömmlichen analogen Fotografie ihren Siegeszug angetreten. Handfeste Vorteile der digitalen Fotografie bestehen unter anderem in der Möglichkeit, das aufgenommene Bild direkt auf dem Display der Kamera zu kontrollieren, so dass gegebenenfalls misslungene Aufnahmen unmittelbar wiederholt werden können. Alle hochwertigen Digitalkameras verfügen zur Feinbeurteilung der Aufnahmen über Lupenfunktionen, so dass sich die Bildschärfe und andere Details in den meisten Fällen hinreichend präzise bereits am Kameradisplay beurteilen lassen.**

**W**eitere Vorteile bestehen in der Möglichkeit, durch eine Nachbearbeitung des Bildes die resultierende Gesamtqualität zu verbessern (Postprozessing). Schließlich kann das digital aufgenommene Foto direkt ausgedruckt und per Post oder Internet verschickt werden. Für Demonstrations- und Lehrzwecke können digitale Aufnahmen auf hoch auflösenden Monitoren präsentiert, auf Datenträgern Platz sparend archiviert und an Interessenten weitergegeben werden.

Im Bereich medizinischer Anwendungen (z. B. Histopathologie und Cytologie) können digitale Dokumentationen von pathologischen Befunden direkt und ohne großen technischen Aufwand in schriftliche Befundmitteilungen integriert werden. In schwierigen differentialdiagnostischen Einzelfällen können digitale Mikrofotos bei Erfordernis im Rahmen telemedizinischer Vernetzungen auch von verschiedenen Experten an unterschiedlichen Standorten synchron diskutiert werden (telemedizinische Konferenzen).

Vor diesem Hintergrund ist es sowohl im Amateur- als auch im professionellen Anwendungsbereich wünschenswert, diese Vorteile der Digitalfotografie auch im Anwendungsbereich der Mikroskopie zu nutzen. Unter wirtschaftlichem Aspekt erscheint vorteilhaft, handelsübliche Kameras einzusetzen, die auch für anderweitige fotografische Zwecke verwendet werden können.

In einem vorausgehenden Beitrag (Piper, 2007) wurden verschiedene grundlegende Aspekte zur digitalen Mikrofotografie erörtert, und es wurden ausführliche Hinweise gegeben, in welcher Weise digitale Kompakt- und Bridge-Kameras an Mikroskopen verwendet werden können. Der jetzige Beitrag soll ergänzend auf die Mikrofotografie mit digitalen Spiegelreflex-Kameras eingehen und sich mit den Besonderheiten der digitalen Blitzlichtfotografie befassen.

### **Grundsätzliche Vor- und Nachteile digitaler Spiegelreflex-Kameras**

Unter technischem Aspekt ist als grundsätzlicher Vorteil dieser Kameras zu werten, dass die Größe der Bildsensoren (Chips) deutlich über denjenigen Chips liegt, die in handelsüblichen Kompakt- und Bridge-Kameras verwendet werden. Zurzeit existiert lediglich eine Bridge-Kamera, welche als Nicht-Spiegelreflex-Kamera über einen Chip vergleichbarer Größe verfügt. Diese Kamera ist allerdings nach eigener Erfahrung aufgrund ihrer optischen Auslegung als Mega-Zoom-Kamera für eine Verwendung am Mikroskop völlig ungeeignet. Sofern daher ein Maximum an technisch realisierbarer Bildauflösung, ein Maximum an Lichtempfindlichkeit (hohe ISO-Werte) und ein Minimum an Bildrauschen und anderen Artefakten gefordert

wird, sollte unter Aspekten der Chiptechnologie eine digitale Spiegelreflex-Kamera präferiert werden.

Andererseits verfügen sämtliche Spiegelreflex-Kameras über eine deutlich erschütterungsträchtigere Auslösung. Ein erster Erschütterungsimpuls entsteht bei normaler Auslösung einer solchen Kamera durch das Schwingen des Spiegels; zwei weitere Erschütterungswellen werden durch den ersten und zweiten Verschlussvorhang des jeweiligen Schlitz- oder Lamellenverschlusses verursacht. Die Erschütterung des Spiegels kann kompensiert werden, wenn mit Spiegelvorauslösung gearbeitet wird. Hierbei ist der Auslöser der Kamera zweimal zu betätigen. Ein erstes Niederdrücken des Auslösers veranlasst die Bewegung des Spiegels zur Freigabe des Lichtweges, aber erst bei nochmaliger Auslösung wird der Kameraverschluss betätigt. Erschütterungen, welche durch den Verschlussvorgang selbst ausgelöst werden, bleiben auch bei Spiegelvorauslösung bestehen. In der Mikrofotografie wirken sich vor allem bei mittleren und hohen Vergrößerungen schon geringgradige Erschütterungen der Kamera beziehungsweise des Mikroskops nachhaltig auf das Bild aus, welches durch auslösungsbedingte Verwacklungsunschärfen bis zur völligen Unbrauchbarkeit verändert werden kann.

Aus diesem Grund ist einer geeigneten Adaptation einer Spiegelreflex-Kamera erheblich mehr Aufmerksamkeit zu widmen, als bei Verwendung einer digitalen Kompakt-Kamera, welche in aller Regel praktisch erschütterungsfrei auslöst. Aus dieser Problematik ergibt sich auch der besondere Stellenwert der Elektronenblitz-Fotografie bei Verwendung einer digitalen Spiegelreflex-Kamera, da sich mittels Elektronenblitz die kürzest möglichen Belichtungszeiten realisieren lassen. Daher ist ein Elektronenblitz neben einer geeigneten Kameraadaptation das wichtigste Hilfsmittel, um bei Verwendung einer Spiegelreflex-Kamera etwaige Verwacklungen zu vermeiden, sofern der Verschluss der Kamera zur Belichtung des Bildes verwendet werden soll.

Auf andere Weise können systembedingte Verwacklungsgefahren bei Verwendung einer Spiegelreflex-Kamera am Mikroskop ausgeschaltet werden, wenn das Mikroskop selbst über einen eigenen, erschütterungsfreien Zentralverschluss verfügt und das digitale Spiegelreflex-Gehäuse lediglich als Chipträger dient. In diesem Fall kann die Kamera auf Langzeitbelichtung („B“

beziehungsweise „Bulb“) gestellt werden. Nach Abklingen sämtlicher Erschütterungen kann in einem zweiten Schritt die Belichtung der Aufnahme über den erschütterungsfrei gelagerten Zentralverschluss des Mikroskops erfolgen.

### **Adaptationsmöglichkeiten digitaler Spiegelreflex-Kameras**

Bei digitalen Spiegelreflex-Kameras kann die kameraseitige Optik entfernt werden. Sofern eine mikrofotografische Einrichtung für analoge Spiegelreflex-Kameras existiert, kann das ansonsten verwendete analoge Spiegelreflex-Gehäuse gegen das entsprechende digitale Kameragehäuse ausgetauscht werden, wenn die jeweiligen Auflagemaße einen solchen Austausch ermöglichen beziehungsweise geeignete Adapter zur Korrektur der Auflagemaße zur Verfügung stehen. Konkret kann zum Beispiel anstelle eines Leica R-Gehäuses ohne Probleme jede digitale Spiegelreflex-Kamera von Canon verwendet werden. Von verschiedenen Herstellern werden Adapterringe angeboten, um das Leica-Bajonett an das kameraseitige Canon-Bajonett anzupassen und die bestehende Differenz des Auflagemaßes auszugleichen.

Wenn eine Digitalkamera mit Vollformat-Chip verwendet wird, ist der resultierende Bildausschnitt demjenigen der analogen Kamera entsprechend. Wenn kleiner dimensionierte Chips verwendet werden (z.B. APS-Chips), verkleinert sich der Bildausschnitt. Dies kann kompensiert werden, wenn die Vergrößerung des Fotookulars entsprechend verringert wird. Sofern ein Vario-Fotookular zur Verfügung steht, lässt sich dies unschwer realisieren. Wenn keine Fotoeinrichtung zur analogen Spiegelreflexfotografie vorhanden ist, bestehen verschiedene andere Varianten, eine digitale Spiegelreflex-Kamera am Mikroskop zu adaptieren.

Grundsätzlich kann in Übereinstimmung zur analogen Fotografie eine digitale Spiegelreflex-Kamera über eine linsenlose Ringkombination mittels einer externen Montur (z.B. Verwendung eines Reproduktionsstativs) erschütterungsfrei so über einem Fotookular platziert werden, dass sich eine adäquate Ausleuchtung des Bildes ergibt. Der Vorteil einer solchen Montur besteht in der erschütterungsfreien Direktauslösung, da Erschütterungen des Kameragehäuses nicht auf das Mikroskop übertragen werden. Nachteilig ist der Umstand, dass es

sich um voluminöse Konstruktionen handelt und die Kamera nicht drehbar ist. Sofern das Mikroskop nicht über einen Drehtisch verfügt, kann daher keine Anpassung der Sucherausrichtung an die Position des Objektes erfolgen, es sei denn, man würde das gesamte Mikroskop unter der Kamera um die optische Achse drehen. Praktikabler sind daher direkte Montierungen der Digitalkamera am Mikroskop, wobei hier das Problem der Übertragung von auslösungsbedingten Erschütterungen gelöst werden muss.

Um die auslösungsbedingten Erschütterungen zu reduzieren, sollte in jedem Fall mit Spiegelvorauslösung gearbeitet werden. Weiterhin kann die Auflage des Fotookulars mit Gummierungen versehen werden, welche als Dämpfer solcher Erschütterungen wirken, wenn die Kamera direkt mit dem Fotookular verbunden ist. Schließlich ist das Ausmaß von Erschütterungen abhängig von der konkreten Belichtungsdauer und der Gesamtheit der jeweils schwingenden Masse. Somit muss im Einzelfall letztlich durch Probieren ermittelt werden, welche Art der Adaption eine hinreichend erschütterungsfreie Fotografie ermöglicht. Mitbestimmt wird das Ausmaß auslösungsbedingter Schwingungen auch von der Konstruktion des Verschlusses. Je kürzer die minimale mögliche Verschlusszeit ist, desto härter löst die Kamera in der Regel auch bei längeren Belichtungszeiten aus.

Für die Direktadaptation einer Spiegelreflex-Kamera am Mikroskop können einerseits von verschiedenen Fremdherstellern angebotene Spezialobjektive verwendet werden, die anstelle des Kameraobjektives eingesetzt werden und in den Stützen eines Fototubus oder in einen herkömmlichen Okularstützen eingesetzt werden. Die Qualität dieser Fremdoptiken ist unterschiedlich.

Alternativ kann grundsätzlich auch ein hochwertig gerechnetes systemkonformes Kameraobjektiv am Spiegelreflex-Gehäuse verbleiben, welches über sein Filtergewinde mit Hilfe geeigneter Adapterringe (z. B. der Firma Promicron) am augenseitigen Gewinde des Fotookulars adaptiert wird. Mit dieser Variante, bei der die Spiegelreflex-Kamera praktisch analog einer Kompakt- oder Bridge-Kamera mit integriertem Objektiv verwendet wird, liegen die besten eigenen Erfahrungen vor (Abb. 1). Weitere Einzelheiten zur direkten Adaption von kameraseitigen Objektiven an Fotookulare und Vario-Okularen finden sich in Teil 1 dieses Bei-



**Abb. 1: Montage einer Spiegelreflex-Kamera (Canon EOS 350 D an einem trinokularen Fototubus (Leitz/Leica FSA-Tubus) mittels hochwertigem Kamera-Objektiv und verschraubbarem Fotookular mit 10facher Vergrößerung. 1 Trinokularer Fototubus (Leitz/Leica FSA-Tubus); 2 Tubusstützen zur Aufnahme des Fotookulars (Standardmaß: 23 mm); 3 Fotookular mit augenseitigem Gewinde (Leitz/Leica Brillenträger-Okular Periplan GF 10×), Gewindemaß 28 mm; 4 Promicron-Adapter-Ringscheibe (Innengewinde 28 mm, Außengewinde 58 mm), verschraubt mit Hama-Filteradapter (Außengewinde 58 mm, Innengewinde 55 mm); 5 Objektiv Leitz/Leica Summicron-R 1:2/35 mm, Filterdurchmesser 55 mm; 6 Novoflex-Objektivadapter EOS/LER zur Adaption von Leica-R-Objektiven an Canon-EOS-Kameras; 7 Anschlusskabel für erschütterungsfreien Fernauslöser; 8 Winkelsucher der Firma Seagull (dieser Winkelsucher liefert am Mikroskop ein klareres Bild als der entsprechende Canon-Winkelsucher).**

trages (Piper, 2007). Bei einer solchen Adaption sollten optimiert gerechnete Festbrennweiten verwendet werden. Diese ergeben auch am Mikroskop sichtbar höhere Qualitäten als Zoom-Objektive. Im Interesse einer erschütterungsfreien und stabilen Adaption sollten möglichst Objektive ohne Autofokusfunktion eingesetzt werden, da die Frontlinse, deren Filtergewinde das Kameragehäuse zu tragen hat, bei diesen nur manuell fokussierbaren Objektiven mechanisch wesentlich stabiler gelagert ist.

### **Eigene Realisationsbeispiele**

In der Praxis hervorragend bewährt hat sich als digitale Spiegelreflex-Kamera die Canon EOS 350 D und mit gewissen Einschränkungen (höheres Gewicht, weniger weicher Verschluss) auch die Canon EOS 20 D. Beide Kameras verfügen über nahezu identische Sensoren mit rund 8 Megapixel Auflösung. Die Chips beider Kameras zählen zu den rauschärmsten Konstruktionen, die zurzeit erhältlich sind. Der ISO-Bereich lässt sich bei der EOS 350 D bis auf 1600 ASA, bei der EOS 20 D bis 3200 ASA erhöhen. Das Bildrauschen liegt bei diesen hohen ISO-Werten in einem Bereich, der einer Kompakt- oder Bridge-Kamera bei ISO 200–400 vergleichbar ist.

Beide Kameras verfügen über Spiegelvorauslösung und erschütterungsfreie Fernauslösung. Zusätzlich ist eine PC-gesteuerte Fernauslösung mittels Capture-Software möglich, welche herstellerseitig mitgeliefert wird. Die Schärfe kann über den Sucher dieser Kameras jeweils mit hinreichender Genauigkeit fokussiert werden. Unter Aspekten der Ergonomie und Fokussierpräzision empfiehlt sich jedoch die Verwendung eines Winkelsuchers. Dieser ermöglicht eine 2,5fache Vergrößerung des Sucherbildes, weshalb feine Bilddetails mit deutlich gesteigerter Genauigkeit fokussiert werden können. Auch bei diesen Kameras lässt sich bei vorhandenem binokularem Fototubus ein Schärfefgleich realisieren, so dass das Kamerabild automatisch über den binokularen Tubus fokussiert werden kann. Sehr gute Erfahrungen hinsichtlich Adaption dieser Kameras konnten mit Leica-Festbrennweiten gesammelt werden, die über die erwähnten Bajonett-Adapter (z. B. der Firma Novoflex) unter Gewährleistung korrekter Auflagemaße ohne Einschränkungen verwendet werden können.

In das Filtergewinde des jeweiligen Leica-Objektives wird unter Verwendung eines Filteradapters zum Ausgleich der Gewindedurchmesser vorzugsweise ein 58-mm-Promicon-Adapterring eingeschraubt, der mit dem jeweiligen Fotookular (z. B. 10faches Brillenträger-Okular oder Vario-Okular) verbunden wird. Die Kamera liegt folgerichtig mit ihrem jeweiligen Objektiv direkt dem Fotookular auf. Hervorragende Qualitäten liefert bei dieser Montur das Leica-Summicon 35 mm. Dieses Objektiv zählt zu den bestkorrigierten Objektiven des Leica-Sortimentes. Bei Kombination mit einem Fotookular der Sehfeldzahl 18 fallen die Bildecken mit der Randbegrenzung des mikroskopischen Gesichtsfeldes zusammen, weshalb das volle Sehfeld fotografisch genutzt werden kann. Bei Verwendung entsprechend korrigierter Planoptiken lassen sich auch im Randbereich des Bildes noch brauchbare Ergebnisse erzielen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, aufgrund gegebener Vergrößerungsreserven den Bildausschnitt am PC mittels entsprechender Bildbearbeitungssoftware im Nachhinein zu verkleinern und den jeweiligen Gegebenheiten anzupassen.

Alternativ kann anstelle eines 35-mm-Objektives mit ebenfalls hervorragender Qualität ein Objektiv mit 50 oder 60 mm Festbrennweite verwendet werden (vorzugsweise Leica Summilux 50 mm oder Macro-Elmarit 60 mm). Diese Objektive bilden etwa die zentralen 2/3 des Gesichtsfeldes ab, so dass potentielle Randunschärfen ausgeblendet werden. Diese Bildausschnitte entsprechen denjenigen Ausschnitten, die auch von analogen mikrofotografischen Apparaturen üblicherweise berücksichtigt werden. Mittels manueller Schärfefokussierung am kameraseitigen Objektiv kann eine Feinabstimmung zwecks Schärfefgleich mit dem binokular beobachtbaren Bild gewährleistet werden. Über vorhandene Blitzkontakte können mit diesen Spiegelreflex-Kameras auch externe Elektronenblitze gezündet werden.

Grundsätzlich können alle digitalen Spiegelreflexgehäuse der Firma Canon am Mikroskop gut verwendet werden. Die EOS 350 D bietet, wiewohl die preiswerteste Kamera, zwei handfeste Vorteile. Konstruktionsbedingt hat sie von allen Kameras das geringste Eigengewicht und den erschütterungsärmsten Auslöser (technische Bestätigung seitens Firma Canon wurde eingeholt). Eine weitestgehend erschütterungsfreie Bildauslösung lässt sich nach eigener Erfahrung mit diesen Kameras realisieren,

wenn sie an 10fach vergrößernden Brillenträger-Okularen adaptiert werden und die Auflage dieser Okulare tubusseitig mit einem Gummiring passenden Durchmessers abgedeutet wird. Offensichtlich reduziert die geringe Auflagefläche eines solchen Fotookulars die Übertragung von Erschütterungen wesentlich. Werden diese Kameras hingegen mit Vario-Okularen fest verschraubt oder unter Verwendung spezieller optischer Systeme von Fremdherstellern eingesetzt, die direkt in den Tubusstutzen geschoben werden, ergeben sich deutlich höhere Erschütterungsgefahren, auch dann, wenn diese Optiken mit Gummipufferungen nachgerüstet werden. Der Grund liegt wahrscheinlich darin, dass bei diesen Konstruktionen die Gesamtheit der schwingenden Masse wesentlich höher liegt und auch die Auflageflächen deutlich größer sind.

Es ist bekannt, dass das Ausmaß sichtbarer auslösungsbedingter Restunschärfen von der Belichtungszeit abhängig ist. Bei Belichtungszeiten unter etwa 1/15-Sekunde sind in aller Regel keine Verwacklungsunschärfen erkennbar, bei sehr kurzen Verschlusszeiten oberhalb von 1/500 Sekunde bestehen in der Regel auch keine erkennbaren Verwacklungsunschärfen mehr. Kritisch bleibt der Belichtungsbereich von etwa 1/30 bis 1/250 Sekunde, vor allem bei mittleren und hohen Vergrößerungen. Vollständig eliminiert sind sämtliche auslösebezogenen Erschütterungsunschärfen, wenn ein Elektronenblitz verwendet wird. Daher soll auf diese Möglichkeit der Bildbelichtung gesondert eingegangen werden.

### **Verwendung von Elektronenblitzgeräten**

Im Unterschied zur analogen Fotografie existiert in der Digitalfotografie keine reflektierende Oberfläche eines fotografischen Films, welche zur automatischen Steuerung der Blitzlichtintensität (herkömmliche TTL-Blitzbelichtungsmessung) genutzt werden kann. Nur bei analogen Kameras kann während der Blitzlichtaufnahme anhand von Lichtreflexionen an der Filmoberfläche kameraseitig in Echtzeit erfasst werden, wann die Belichtung hinreichend ist. In diesem Fall stoppt die analoge Kamera die weitere Blitzbelichtung.

Bei Digitalkameras ist der anstelle des Films verwendete Chip nicht hinreichend geeignet, Reflexionen zur Blitzlichtmessung zu detektie-

ren, da die Chipoberfläche wesentlich weniger reflektierend als eine Filmoberfläche ist. Übereinstimmend vollzieht sich die TTL-Blitzlichtmessung bei Digitalkameras daher nach einem anderen Prinzip: Wenn die Kamera ausgelöst wird, gibt sie zunächst einen Vorblitz ab, welcher der Messung der Objekhelligkeit dient. Die eigentliche Blitzlichtaufnahme wird Sekundenbruchteile später durch nochmaliges Zünden des Blitzes realisiert. Die Intensität dieses zweiten Hauptblitzimpulses richtet sich nach den Helligkeitsmessungen, welche die Kamera aus dem zuvor abgegebenen Vorblitz ableiten konnte.

Schon von anderen Autoren wurde durch umfangreiche Testungen ermittelt, dass die TTL-Blitzlichtmessung mit Vorblitz bei vielen Digitalkameras an einem Mikroskop nicht zuverlässig arbeitet (z.B. Schubert, 2003). Schubert erwähnte im Jahr 2003 nur zwei Digitalkameras, deren TTL-Blitzlichtmessung bei Verwendung am Mikroskop zu brauchbaren Ergebnissen führte, wenn mit einem systemkonformen TTL-Blitz gearbeitet wurde (Finepix S2 Pro von Fuji und Pentax istDS).

Unabhängig von der Art der verwendeten Kamera lassen sich hingegen zuverlässige Ergebnisse bei mikroskopischen Blitzlichtaufnahmen durch manuelle Steuerung der Blitzlicht-Intensität erreichen. Diese Methode war schon zur Zeit der analogen Fotografie im Bereich der Mikroskopie etabliert. Andererseits existieren durchaus auch Möglichkeiten, bei geeigneten Kameras mit systemkonformen Blitzgeräten eine brauchbare TTL-Blitzlichtmessung zu realisieren. Daher soll auf beide Varianten der Blitzlichtfotografie eingegangen werden.

### **Manuelle Blitzlichtsteuerung**

Bei diesem Verfahren wird zunächst unter maximal heller konventioneller Beleuchtung ermittelt, welche Belichtungszeit für eine konventionell belichtete Mikroaufnahme erforderlich wäre. Diese Belichtungszeit wird über eine Eichserie einer korrespondierenden Blitzbelichtungsintensität zugeordnet. Die Helligkeit beziehungsweise Intensität des Blitzlichtes kann bei konstanter Blitzleuchtstärke mittels Graufilterkombinationen variiert werden, die in Stufen von einer halben Blende über einen weiten Belichtungsbereich eine dosierte Steuerung der Lichtmenge ermöglichen. Grundsätzlich kann

alternativ auch der Blitz selbst auf entsprechende Teilleistungsstufen geschaltet werden, wenn dies geräteseitig möglich ist. Detaillierte Darstellungen der manuellen Blitzlichtmethode finden sich in zahlreichen Quellen (z. B. Henkel, 2006).

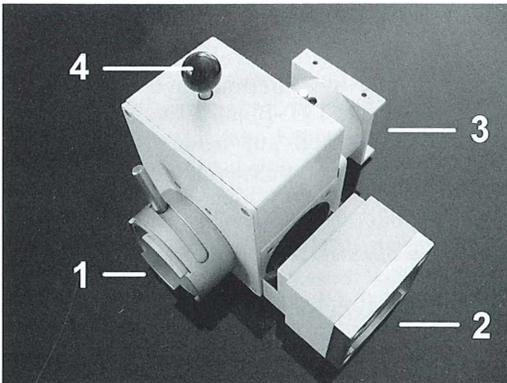
Bei einer manuellen Blitzlichtsteuerung können letztlich beliebige Blitzgeräte verwendet werden, wenn diese von der Kamera über ein Adapterkabel (Synchronkabel) entfesselt gezündet werden können und das mikroskopische Bild reflexfrei ausleuchten. Nach eigener Erfahrung äußert problematisch ist eine Direktmontage von einem oder mehreren Blitzgeräten unterhalb des Kondensors, unmittelbar über dem Lichtaustritt im Fuß des Mikroskops, dies auch, wenn mehrere klein dimensionierte Einzelblitze in Ringblitz-ähnlicher Formation um die Lichtaustrittsöffnung des Mikroskopfußes platziert werden. Bei solchen Behelfskonstruktionen kommt es sehr häufig zu störenden Reflexionen des Blitzlichtes an Linsenelementen des Kondensors, welche sich in das mikroskopische Bild projizieren. Weiterhin kann bei einer solchen Anordnung keine Köhler'sche Beleuchtung realisiert werden.

Eine exakte Führung des Blitzlichtes lässt sich hingegen gut gewährleisten, wenn ein Mikroskopstativ mit externer Ansatzleuchte zur Ver-

fügung steht. In diesem Fall kann anstelle der Ansatzleuchte ein Spiegelkasten am Fuß des Mikroskops montiert werden, der sowohl die Ansatzleuchte als auch einen geeigneten Elektronenblitz aufnimmt. Auch diese Methode war schon zu Zeiten der analogen Mikrofotografie von einigen Herstellern so realisiert worden (Beispiel: Leitz Mikroblitzeinrichtung, Abb. 2).

Bei Auswahl eines geeigneten Blitzgerätes ist darauf zu achten, dass möglichst kleine Reflektoren zur Verfügung stehen, die ein möglichst ideal gebündeltes Licht aussenden. Die Reflektorgröße sollte bei etwa  $3 \times 4$  cm liegen. Das betreffende Blitzgerät kann an dem vorerwähnten Spiegelkasten montiert werden. Über handelsübliche Blitzsynchronkabel kann das Gerät von der Digitalkamera ausgelöst werden, wenn diese über einen Blitzkontakt zum Anschluss externer Blitzgeräte verfügt. Die Homogenität der Ausleuchtung kann in Abhängigkeit verschiedener veränderbarer Parameter variiert beziehungsweise optimiert werden: Abstand des Blitzgerätes zum Anschlussstutzen des Mikroskops beziehungsweise Spiegelkastens, Stellung des Zoom-Reflektors (falls das Gerät über einen Zoom-Reflektor verfügt), Verwendung einer Weitwinkel-Streuscheibe oder eines weißen Papierblattes als Diffusor, Auflegen einer Streuscheibe auf den Lichtaustritt des Mikroskops. Für übliche mikroskopische Beobachtungen im biologisch-medizinischen Bereich sind Blitzlicht-Leitzahlen in einer Größenordnung von 18–20 völlig ausreichend. Diese Blitzlichtstärken genügen, um auch bei hoher Vergrößerung im Hellfeld, Dunkelfeld oder Phasenkontrast bei niedrigen bis mittleren ISO-Werten korrekt belichtete Aufnahmen zu erreichen.

Gute eigene Erfahrungen existieren mit dem Spiegelkasten der Leitz Mikroblitzeinrichtung (Abb. 2). Dieser besteht aus einem teildurchlässigen Spiegel. Je nach Position dieses Spiegels gelangen entweder 100% des Beleuchtungslichtes in den Strahlengang, oder bei gleichzeitiger Freigabe des Blitzlichtes noch 25% des ursprünglichen Beleuchtungslichtes. Diese Anordnung hat den wesentlichen Vorteil, dass ein bewegtes Objekt auch nach Freigabe des Blitzlicht-Strahlenganges vom Beobachter weiter verfolgt und bei Bedarf in der Schärfe nachfokussiert werden kann, ehe die Blitzlichtaufnahme ausgelöst wird. An diesen Spiegelkasten wurde ein einfaches Klein-Blitzgerät mit klein



**Abb. 2:** Leitz/Leica Mikroblitz-Einrichtung. 1 Bajonet-Anschluss zur Adaptation an den Fuß des Mikroskops; 2 Anschluss zur Adaptation der Lichtquelle (Ansatzleuchte oder Lampenhaus); 3 Anschlussstutzen zur Adaptation eines Elektronenblitzgerätes; 4 Schieber zur Variierung des Strahlenganges (Stellung 1: 100% Beleuchtungslicht, 0% Blitzlicht, Stellung 2: 100% Blitzlicht, 25% Beleuchtungslicht).



**Abb. 3: Graufilter-Kombination zur stufenweisen Verringerung der Blitzlichthelligkeit, bei geeigneten Filter-Kombinationen in Schritten von einer halben Blende.**

dimensioniertem Reflektor und Leitzahl 18 montiert. Die Zündung des Blitzgerätes wurde über ein herkömmliches Synchronkabel realisiert, welches mit dem Mittenkontakt des kameraseitigen Blitzfußes über einen handelsüblichen Adapter verbunden wird. Die Blitzlichtintensität konnte mittels eines Leitz/Leica-Graufiltersets in Schritten von einer halben Blende über einen weiten Verstellbereich variiert werden (Abb. 3).

Etwaige Verwacklungsunschärfen werden mit Hilfe des Blitzlichtes dann unterbunden, wenn die Belichtungszeit des Blitzgerätes hinreichend kurz ist. Da die Belichtungszeiten von Elektronenblitzgeräten durchaus schwanken können, hilft hier nur ein konkretes Testen eines bestimmten Gerätes. Zusätzlich lassen sich Restunschärfen vermeiden, wenn die jeweils kürzest mögliche Blitzsynchron-Verschlusszeit verwendet wird und die Zündung des Blitzgerätes auf den zweiten Verschlussvorhang geschaltet wird.

Es soll ausdrücklich erwähnt werden, dass die Bridge-Kamera Olympus Camedia C 7070 noch mit ihrer kürzest möglichen Verschlusszeit von 1/2000 Sekunde ohne Probleme mit jedem handelsüblichen externen Elektronenblitzgerät für die Mikrofotografie synchronisierbar ist. Diese kurze Verschlusszeit sollte jegliche Restunschärfe durch Verwacklungen oder objektseitige Bewegungen ausschließen. Bei den Canon EOS-Digitalspiegelreflex-Kameras liegt bei gleicher Anordnung die kürzest mögliche Verschlusszeit zur störungsfreien Synchronisation des Blitzgerätes bei 1/320 Sekunde. Je nach Dauer des Blitzlichtes erscheinen bei dieser Verschlusszeit in kritischen Situationen noch geringe bewegungsbedingte Restunschärfen möglich.

### Automatische TTL-Blitzlichtsteuerung

Mit geeigneten Kompakt- beziehungsweise Bridge-Kameras und einigen Spiegelreflex-Kameras kann trotz der erwähnten, auch von anderen Autoren publizierten Einschränkungen unter bestimmten Voraussetzungen eine zuverlässige TTL-Blitzlichtmessung erreicht werden. Der Vorteil einer solchen TTL-Blitzlichtsteuerung liegt vor allem in einer wesentlichen Vereinfachung und Beschleunigung der Arbeitsabläufe. Ein vorausgehendes manuelles Messen der Objekthelligkeit, eine Erarbeitung von Eich Tabellen, eine Auswahl einer passenden Graufilterkombination und das Auflegen der entsprechenden Graufilter vor Auslösen der Aufnahme entfallen jeweils bei einer direkten TTL-Messung. Folgerichtig können bei TTL-Messung vor allem schnell bewegliche Objekte wesentlich zuverlässiger im Bild festgehalten werden. Die Objekte können jeweils bis zum Zeitpunkt der Auslösung verfolgt und nachfokussiert werden. Bei manueller Blitzbelichtungsmessung ist hingegen nach Auflegen der jeweils erforderlichen Graufilterkombinationen das Bild in der Regel so abgedunkelt, dass keine weiteren Verfolgungen und Fokussierungen des Objekts bis zur Durchführung der Aufnahme mehr möglich sind.

Wenn eine Kompakt- oder Bridge-Kamera zur Verfügung steht, welche über einen entfesselt betreibbaren TTL-Blitz verfügt (z. B. Olympus Camedia C 7070 mit Original-Blitzadapterkabel und Olympus-Kompaktblitz), kann nach eigener Erfahrung eine TTL-Blitzlichtmessung auch bei Adaptation des Blitzes am Mikroskop realisiert werden, und zwar in allen, auch den manuellen Aufnahmemodi. Diese TTL-Blitzlichtsteuerung funktioniert im Fall der C 7070 auch bei abgeschaltetem Autofokus und manueller Einstellung der kürzestmöglichen Verschlusszeit von 1/2000 Sek.

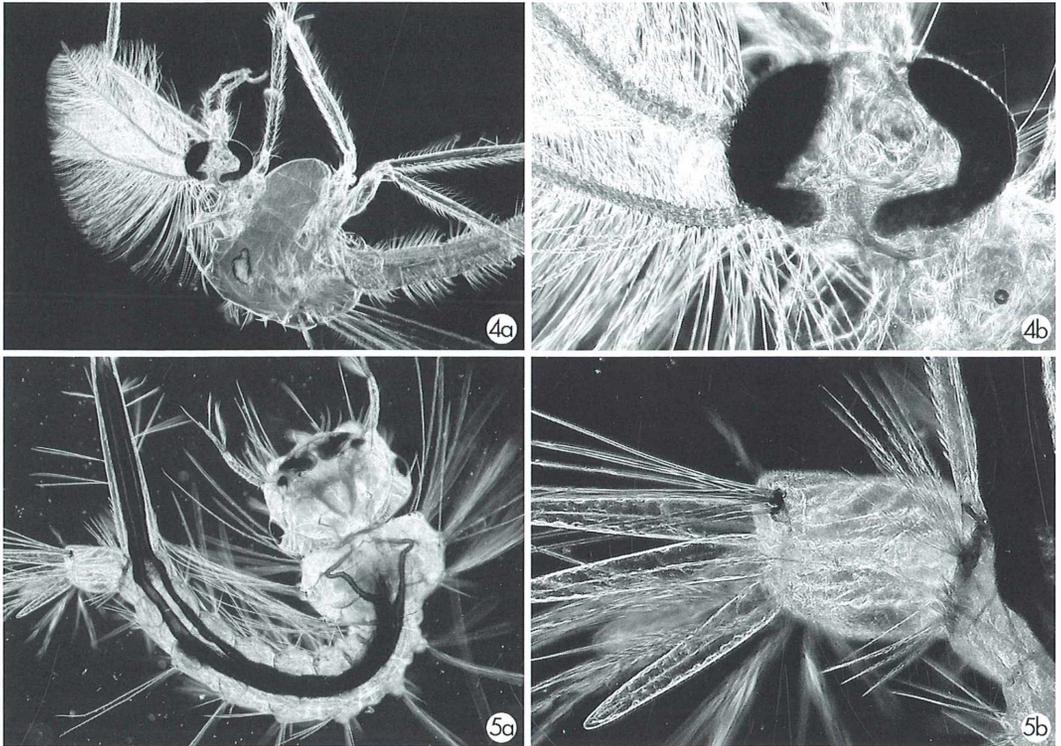
Zu berücksichtigen ist allerdings, dass eine von der Normalfotografie abweichende Helligkeitsabstimmung bei der C 7070 vorgenommen werden muss. Wenn die Kamera auf ISO 100 eingestellt ist, muss das Blitzgerät auf ISO 400 eingestellt werden; zusätzlich ist gegebenenfalls die Blitzbelichtungskorrektur auf  $-1$  EV einzustellen. Unter dieser Prämisse (ISO-Verschiebung) arbeitet die TTL-Blitzbelichtungsmessung in allen Beleuchtungsarten sehr korrekt.

Bei den aktuell erhältlichen digitalen Spiegelreflex-Kameras von Canon (z. B. EOS 350D,

EOS 20D) wird die erforderliche Blitzbelichtung durch einen Vorblitz unabhängig von der Aktivierung des Autofokus und auch unabhängig von der Art der adaptierten Optik durchgeführt. Daher kann mit diesen Kameras auch bei Verwendung von Fremdoptiken eine zuverlässige TTL-Blitzlichtmessung realisiert werden, wenn ein systemkonformer Canon-Blitz mit einem hierfür vorgesehenen Canon-TTL-Adapterkabel verwendet wird.

Im Unterschied zu der C 7070 arbeitet die TTL-Blitzbelichtungsmessung von Canon auch ohne ISO-Verschiebung an einem Mikroskop korrekt. Die werksseitige Standard-Synchronzeit von 1/200 Sek. ist für sicher verwacklungsfreie Aufnahmen nach eigener Erfahrung jedoch zu lang. Bei Verwendung eines

systemkonformen Blitzgerätes besteht hingegen die Möglichkeit, mit Highspeed-Synchronisation bis zur kürzest möglichen Verschlusszeit der Kamera zu synchronisieren (z. B. 1/4000 Sek. bei der EOS 350D). Die Blitzleuchtkraft ist bei dieser kurzen Verschlusszeit um etwa 50% reduziert. Daher hat sich im praktischen Einsatz gezeigt, dass bei einer Highspeed-Synchronisation auf 1/2000 Sek. eine günstigere Blitzlichtausbeute bei hinreichend kurzer Verschlusszeit resultiert. Bei dieser kurzen Verschlusszeit und Bildbelichtung mit einem Canon-konformen Blitzgerät entfällt bei allen Arten der Kameraadaptation die sonst gegebene Notwendigkeit, mit schwingungsdämpfenden Gummipuffern und Spiegelvorauslösung zu arbeiten.



**Abb. 4:** Zuckmücke, Dunkelfeld, Plan 2,5 $\times$ , Leitz/Leica Vario-Okular 6,5 $\times$ , Canon EOS 350 D, Leitz/Leica Mikroblichteinrichtung, Canon Elektronenblitz Speedlite 430 EX, TTL-Blitzbelichtungsautomatik, Highspeed-Synchronisation, 1/2000 Sek. a Originalaufnahme, b Ausschnittsvergrößerung. – **Abb. 5:** Schwarze Mückenlarve, Lebendpräparat ohne Deckglas, Dunkelfeld, Plan Fl 4 $\times$ , Leitz/Leica-Vario-Okular 5 $\times$ , Olympus Camedia C-7070, Leitz/Leica Mikroblichteinrichtung, Olympus Elektronenblitz FL-36, TTL-Blitzbelichtungsautomatik, ISO-Verschiebung um zwei Stufen (Kamera ISO 100, Blitzgerät ISO 400), Highspeed-Synchronisation, 1/2000 Sek. a Originalaufnahme, b Ausschnittsvergrößerung.

Sollte die automatisch von der jeweiligen Kamera ermittelte Blitzlichtintensität im Einzelfall zu nicht optimal belichteten Aufnahmen führen, kann dies am Display der Kamera direkt kontrolliert werden. In diesem Fall kann die jeweilige Aufnahme mit Hilfe der Blitzbelichtungskorrektur (Blitz-Override) mit korrekter Belichtung wiederholt werden. Beide Kamerasysteme ermöglichen auch im Hinblick auf die automatische Blitzlichtsteuerung eine Blitzlichtkorrektur von  $\pm$  zwei Blendenstufen. Bedarfswise kann auch durch Auflegen von Graufiltern eine moderate Belichtungsverringering erreicht werden.

Die Abbildungen 4 und 5 zeigen exemplarisch Aufnahmen mit Elektronenblitzgeräten im jeweils kameraspezifischen automatischen TTL-Betrieb bei Highspeed-Synchronisation auf 1/2000 Sek. (FP TTL Auto bei Olympus, E-TTL H bei Canon). Die kurzen Belichtungszeiten gewährleisten erschütterungsfreie Aufnahmen mit maximaler Schärfe, so dass bei vorhandenen Chip-Auflösungen im Bereich von 7 bis 8 Megapixeln bedarfsweise extreme Ausschnittsvergrößerungen bei noch brauchbarer Qualität erstellbar sind.

Es ist hervorzuheben, dass auch Dunkelfeldaufnahmen mit hohen Lichtgegensätzen seitens der verwendeten Digitalkameras und ihrer systemkonformen Blitzbelichtungs-komponenten im automatischen TTL-Betrieb korrekt belichtet werden.

### **Allgemeine Empfehlungen zur Auswahl einer Digitalkamera**

Der Digitalkamera-Markt ist leider in sehr kurzlebigen stetigem Fluss. Die im Teil 1 dieses Beitrages erwähnten Nicht-Spiegelreflexmodelle (Olympus Camedia C 7070, Canon Powershot A 95) sind bereits nicht mehr auf dem Neugerätemarkt erhältlich. Allerdings lassen sich diese Kameras zurzeit noch unschwer neu oder gebraucht erwerben. Hochwertige Spiegelreflex-Digitalkameras der maßgeblichen Hersteller bleiben hingegen deutlich länger auf dem Neugerätemarkt aktuell, sind also weniger kurzlebig.

Nach eigener Erfahrung kann keinesfalls davon ausgegangen werden, dass bei Nachfolgemodellen bestimmter Kompakt-Digitalkameras der Strahlengang des Objektivs im Vergleich zum Vorgängermodell gleich bleibt, auch dann

nicht, wenn der Zoom-Bereich identisch ist und sich die Kameras bei äußerlicher Betrachtung nur geringfügig unterscheiden. Vor diesem Hintergrund bleibt nur die Möglichkeit, bestimmte Kameras, deren sonstige Kenndaten passend erscheinen, hinsichtlich ihrer Eignung am Mikroskop zu testen. Nur auf diesem Wege lässt sich letztlich klären, ob eine artefaktfreie und adäquate Ausleuchtung des Bildfeldes erreichbar ist, der Verschluss hinreichend erschütterungsarm auslöst, das Display für eine Fokussierung und Beobachtung des mikroskopischen Bildes hinreichend ist und eine qualitativ befriedigende Monitor-Darstellung bei gegebener Bildübertragung möglich ist.

In gleicher Weise sollte auch bei vorgesehener Verwendung einer digitalen Spiegelreflex-Kamera möglichst im Vorfeld erprobt werden, ob und in welcher technischen Realisationsvariante sich die jeweilige Kamera in geeigneter Weise am jeweils vorhandenen Mikroskop einsetzen lässt. Neben optischen Aspekten (adäquate vignettierungsfreie Bildausleuchtung, praktikabler Bildausschnitt, Randunschärfen, Eignung des Suchers beziehungsweise Winkelsuchers zur Bildfokussierung) ist bei Spiegelreflex-Kameras speziell auch darauf zu achten, wie hart oder weich der Verschluss arbeitet. Weiterhin erscheint wesentlich, dass die Möglichkeit zur Spiegelvorauslösung gegeben ist.

Eine erste Vorauswahl kann getroffen werden, wenn man ein konventionelles 10fach vergrößerndes Brillenträger-Okular der Sehfeldzahl 18 orientierend vor die betreffende Kamera hält. Kameramodelle, die a priori nicht in der Lage sind, das Gesichtsfeld eines solchen Okulars bei irgendeiner Einstellung Format füllend zu erfassen, scheiden im Vorfeld aus. Dieser einfache Test lässt auch Randvignettierungen oder Ringartefakte erkennen, wenn das Okular vor eine gering beleuchtete homogene Fläche gehalten wird. Die weitergehende Eignung einer Kompakt-, Bridge- oder Spiegelreflex-Kamera kann nur durch direktes und ausgiebiges Testen am jeweils vorhandenen Mikroskop ermittelt werden.

### **Diskussion**

Trotz verschiedener zu bewältigender Schwierigkeiten erscheinen die derzeit erhältlichen Consumer-Digitalkameras hinreichend ausgereift und leistungsstark, um eine qualitativ hochwer-

tige digitale Mikrofotografie zu realisieren, die hinsichtlich ihrer Ergebnisse der herkömmlichen analogen Kleinbild-Mikrofotografie entspricht. Kompaktkameras haben den Vorteil der meist deutlich erschütterungsfreieren Auslösung und der Zoom-basierten Feinabstimmung des jeweiligen Bildausschnittes, bei gleichzeitiger Übertragbarkeit des Display-Bildes auf einen Monitor. Digitale Spiegelreflex-Kameras verfügen andererseits über potentiell leistungsfähigere Chips, bei Bedarf bis zum Vollformat-Sensor, und zeichnen sich durch höhere ISO-Bereiche bei vergleichsweise niedrigem Rauschlevel aus. Einschränkungen ergeben sich andererseits durch eine deutlich höhere Gefahr von auslösebedingten Verwacklungsunschärfen, die auch bei Arbeiten mit Spiegelvorauslösung in abgeschwächter Form fortbestehen. Das Ausmaß dieser Verwacklungsunschärfen kann durch Einbau geeigneter ringförmiger Gummipuffer im Bereich des Fotookulars beziehungsweise einsetzbarer Tubusröhren wirksam reduziert werden, alternativ und effektiver durch Verwendung eines Elektronenblitzes oder eines mikroskopseitigen erschütterungsfreien Zentralverschlusses.

Bei Verwendung eines trinokularen Fototubus sollte in den meisten Fällen eine Angleichung des binokularen Beobachtungsbildes mit der Chipebene beziehungsweise dem Sucherbild der Kamera möglich sein, so dass mit optimaler Präzision über den Binokulartubus fokussiert werden kann. Mikroblitzeinrichtungen können in gleicher Weise eingesetzt werden, wie in der analogen Mikrofotografie. Der Elektronenblitz gewährleistet optimal kurze Verschlusszeiten mit minimierten Verwacklungs- und Bewegungsunschärfen. Eine TTL-Blitzbelichtungsmessung ist bei bestimmten Kameras zuverlässig möglich.

Insgesamt lässt sich somit mit Hilfe der kommerziell erhältlichen Consumer-Kameras des gehobenen Leistungssegmentes einer der Analog-Fotografie vergleichbare Dokumentationsqualität erreichen, wobei alle prinzipiellen Vorzüge der digitalen Fotografie einschließlich digitaler Bildbearbeitungsmöglichkeiten als weitere positive Argumente für die digitale Mikrofotografie zu berücksichtigen sind.

Aktuell wurde ein erster Prototyp einer Spiegelreflexkamera auf den Markt gebracht, welcher in Analogie zu einer Nicht-Spiegelreflexkamera eine kontinuierliche Beobachtung des Life-Bildes auf dem Kamera-Display erlaubt. Somit

wird sich dieser bisherige Vorteil der Nicht-Spiegelreflexkameras zukünftig relativieren. Die deutlich erschütterungsärmere Auslösung und deutlich verkürzte Blitzlicht-Synchronzeit bleiben jedoch als Vorteile der Nicht-SLR-Kameras bestehen.

Hinsichtlich der erreichbaren ISO-Zahlen und der Rauschcharakteristik sind derzeit noch die großflächigeren Chips der digitalen Spiegelreflexkameras führend. Andererseits bestehen im Bereich der Kompakt- und Bridge-Kameras auch in dieser Hinsicht viel versprechende Weiterentwicklungen, so zum Beispiel ein Wa-ven-Chip des Herstellers Fuji, der bei günstigem Rauschverhalten ebenfalls bereits ISO-Einstellungen bis 1600 bei Kompaktkameras ermöglicht.

Vor dem Hintergrund dieser Entwicklungen überwiegen sehr wahrscheinlich in Zukunft unter praxisrelevanten Aspekten die Vorteile der digitalen Nicht-Spiegelreflexkameras, vorausgesetzt, dass auch zukünftig Kameras mit günstig gerechneten Objektiven zur Verfügung stehen, die mit den spezifischen Gegebenheiten des mikroskopischen Strahlenganges gut korrespondieren. Für spezielle Aufgabenstellungen, welche endgradige Auflösungen oder extreme Ausschnittsvergrößerungen erfordern, wird man wahrscheinlich auch in der weiteren Zukunft auf digitale Spiegelreflexkameras, in diesem Fall vorzugsweise mit Vollformat-Chip zurückgreifen oder zu deutlich höherem Preis digitale Mikroskop-Aufsatzmodule einsetzen, die von den führenden Herstellern ausschließlich für diesen Verwendungszweck angeboten werden.

### Literaturhinweise

Henkel, K.: Der Mikroblitz. Internetseite der Mikrobiologischen Vereinigung München e.V.: [www.mikroskopie-muenchen.de/seriefoto8.html](http://www.mikroskopie-muenchen.de/seriefoto8.html) (2006).

Piper, J.: Technische Realisation digitaler Mikrofotografie mit handelsüblichen Consumer-Digitalkameras. Teil 1: Allgemeine Aspekte, Verwendung von Kompakt- und Bridgekameras. *Mikrokosmos* 96, 111–124 (2007).

Schubert, R.: Erfahrungen mit einer digitalen Spiegelreflexkamera für die Mikroblitzfotographie. Internetseite: [http://72.14.221.104/search?q=cache:\\_C-cynFIiYkJ:www.weihenstephan.org/~joachenk/digi-slr.pdf+Mikroblitz&chl=de&ct=clnk&ccd=11](http://72.14.221.104/search?q=cache:_C-cynFIiYkJ:www.weihenstephan.org/~joachenk/digi-slr.pdf+Mikroblitz&chl=de&ct=clnk&ccd=11) (2003).

Verfasser: Prof. Dr. med. Jörg Piper, Meduna-Klinik, Clara-Viebig-Straße 4, 56864 Bad Bertrich

# Die Ligula der Kleinlibellen im Rasterelektronenmikroskop – Morphologische Strukturen und evolutionsbiologische Bedeutung

Dirk Gassmann

**Zu den Libellen (Odonata) gehören einige der farbenprächtigsten und auffallendsten Vertreter der Insekten überhaupt. Und obgleich ihre Lebensweise in mancher Hinsicht eher einförmig erscheint, hat gerade ihr Fortpflanzungsverhalten die Evolutionsbiologen schon lange fasziniert. Balz- und Territorialverhalten, Partnerwahl, Partnerbewachung – all das sind interessante Elemente des Reproduktionsverhaltens dieser uralten Insektengruppe.**

**S**eit einiger Zeit wissen wir mit Sicherheit, dass auch ein weiteres Phänomen bei Libellen eine große Rolle spielt: Die Spermienkonkurrenz. Letztere wurde erstmals von Parker (1970) für Insekten im Allgemeinen beschrieben und bezeichnet den Wettbewerb der Samenzellen mehrerer Männchen um die Befruchtung einer weiblichen Eizelle. Anders ausgedrückt bedeutet Spermienkonkurrenz auch den Wettbewerb der Männchen um die bestmögliche Weitergabe ihrer Allele (Gen-Ausprägungen) an die Nachkommen. Naturgemäß ist die Polygamie der Weibchen (also das Auftreten von Mehrfachpaarungen) Voraussetzung für die Evolution der intrasexuellen Konkurrenz zwischen den Männchen.

## Kopulationsapparat der Männchen

Libellen stellen die einzige Insektengruppe dar, deren Männchen neben einer Genitalöffnung (Gonoporus) am neunten Hinterleibssegment über einen zusätzlichen sekundären Kopulationsapparat am zweiten und dritten Segment verfügen. Dieses Merkmal stellt also ein abgeleitetes Merkmal (Autapomorphie) des Taxons Odonata dar (Pfau, 1991). Das bedeutet, dass die funktionell entsprechenden Strukturen in anderen Insektengruppen mit denen der Odonaten nicht homolog sind. Deshalb ist die Bezeichnung Ligula oder sekundärer Penis den anderen in der Literatur gebräuchlichen vorzuziehen. Die außergewöhnliche Lage sowie der Bau der Fortpflanzungsorgane sind auch für das so genannte Paarungsrad der Libellen verantwort-

lich. Bei den Kleinlibellen (Zygoptera) kommt es folgendermaßen zustande: Nachdem das Männchen sich mit seinen abdominalen Anhängen am Prothorax des Weibchens, also kurz hinter dem Kopf, festgeklammert hat, biegt das Weibchen das Abdomenende nach vorne, bis es den Kopulationsapparat des Männchens erreicht und sich dort festgehakt hat. Was dann kommt, scheint nun bei vielen Arten über den bloßen Transfer des eigenen Sperma hinauszugehen: Zunächst wird nämlich das Sperma des oder der Vorgängermännchen(s) mehr oder weniger vollständig entfernt. Das von Waage (1979) erstmals für die amerikanische Art *Calopteryx maculata* nachgewiesene Vorkommen von Spermienkonkurrenz bei Libellen wurde in den folgenden Jahren auch für zahlreiche andere Odonatenarten beschrieben.

## Ligula-Morphologie im Rasterelektronenmikroskop

Die Doppelfunktion der Ligula, das heißt die Übertragung des eigenen und die Entfernung des fremden Spermas, ist es nun, welche die Ligula für den Elektronenmikroskopiker zu einem so interessanten Studienobjekt macht. Erst mit dem Rasterelektronenmikroskop lassen sich nämlich die feinen Strukturunterschiede zufrieden stellend untersuchen. Nur verhältnismäßig wenige Zygopterenarten sind bisher auf diese Weise analysiert worden. Dabei bieten sich hier nicht nur funktionsmorphologische Fragestellungen an. Strukturmerkmale der Ligula werden auch in phylogenetischen Analy-

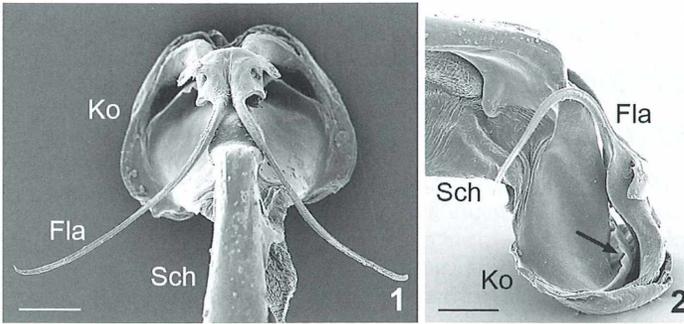


Abb. 1 und 2: *Coeliccia membranipes*, Männchen, Ligula. – Abb. 1: Ventrale Ansicht. Fla Flagellum, Ko distaler Kopfbereich der Ligula, Sch Schaft, Maßstrich 100  $\mu\text{m}$ . – Abb. 2: Laterale Ansicht. Lamina interna (Pfeil) deutlich sichtbar, Maßstrich 100  $\mu\text{m}$ .

sen zur Aufklärung von Verwandtschaftsbeziehungen zwischen Arten verwandt (Gassmann, 2005; May, 2002; O'Grady und May, 2003; Rehn, 2003).

Die Ligula der Kleinlibellen-Männchen besteht aus einem robusten, deutlich gebogenen Schaft sowie einem umklappbaren distalen Kopfbereich, der einfach strukturiert oder mit Fortsätzen versehen sein kann (auf die komplexer gebaute dreigliedrige Ligula der Großlibellen soll hier nicht näher eingegangen werden). Die Fortsätze können Spatel- oder Löffelform haben, breite beziehungsweise schmale Lappen bilden, oder – wie in vielen Fällen – in lange robuste oder filigrane Flagellen ausgezogen sein (Abb. 1 und 2), die leicht gebogen oder fast spiralig gewunden sein können. Letztere sind für den Mikroskopiker die dankbarsten Objekte, da sie teilweise spektakulär aussehen.

Generell ist der Kopfbereich der Ligula in allen diesen Arten wie eine Schaufel geformt, die beim Herausziehen der Ligula aus der Vagina des Weibchens umklappt und auf diese Weise schon theoretisch dazu befähigt ist, Sperma von konkurrierenden Männchen zu entfernen (Miller und Miller, 1981). Für die Bestätigung der Spermien-Entfernungs-Funktion (Waage, 1979) müssten bestenfalls parallel dazu auch die korrespondierenden Strukturen der Bursa copulatrix und der Spermathek des Weibchens untersucht werden. Dies ist bisher nur in verhältnismäßig wenigen Fällen geschehen. Sicherlich kann man von der Komplexität der flagellaten Strukturen (hier als Flagellen bezeichnet) auf der einen, und den einfacheren Ausprägungen auf der anderen Seite nicht pauschal auf das Vorhandensein oder Fehlen von Spermienkonkurrenz bei den jeweiligen Arten schließen. Waage (1986) hat allerdings erstmals nicht nur Hinweise für eine weite Verbreitung der Sper-

mienkonkurrenz bei Libellen geliefert, sondern auch plausibel dargelegt, dass durchaus sehr verschiedene Typen von Ligulae diese Funktion ausüben können.

### Oberflächenstrukturen der Ligula

Strukturen, die in diesem Zusammenhang sehr interessant, aber nur mit dem Rasterelektronenmikroskop darstellbar sind, finden sich in Form verschiedenartiger Oberflächenstrukturen der oben beschriebenen Fortsätze. Unter den hier untersuchten Platycnemididen fiel vor allem die afrikanische Art *Mesocnemis singularis* auf, bei denen das Männchen haarförmige Fortsätze auf den Flagellen aufweist (Gassmann, 2005), die einer genaueren Untersuchung bedürfen. Da die meisten Platycnemididen unbehaarte Flagellen haben, wirft diese Besonderheit innerhalb der Gruppe der Federlibellen nebenbei einmal mehr die Frage des taxonomischen Status dieser Art beziehungsweise ihrer Gattung auf. Platycnemididen-Arten aus Neuguinea besitzen laterale Felder aus winzigen Zähnchen, die kammartig zu kleineren Gruppen zusammengefasst sind (Abb. 6 und 7). Diese sind so orientiert, dass sie bei ausgeklappter Ligula proximal ausgerichtet sind, also sehr wahrscheinlich auch im Dienst der Entfernung des Konkurrenten-Spermas stehen. Diese Zähnchen haben viel Ähnlichkeit mit denen auf den lateralen Flagellen von *Argia* (Waage, 1986). Während derartige Strukturen nur mit dem Elektronenmikroskop zu sehen sind, fallen andere bereits beim Studium unter der Binokular-Lupe auf: Dazu gehört eine innere Lamina, die in Lateralansicht im Inneren des Ligulakopfes (Abb. 2) zu sehen ist und in der Regel die Gestalt eines dreieckigen Lappens

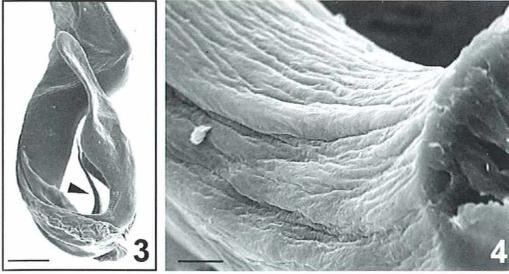


Abb. 3 und 4: *Torrenticnemis filicornis*, Männchen. – Abb. 3: Ligula in lateraler Ansicht. An Stelle der Lamina interna befindet sich hier ein inneres Flagellum (Pfeilkopf), Maßstrich 100  $\mu\text{m}$ . – Abb. 4: Detailansicht der Basis des frei präparierten inneren Flagellums (rechts ist die Bruchstelle zu sehen), Maßstrich 3  $\mu\text{m}$ .

aufweist. Bei Vertretern der neuguineischen Platycnemididen ist diese Lamina allerdings zu einem Flagellum umgewandelt (Gassmann, 1999, 2005; Abb. 3). Letzteres weist, wie sich bei näherer rasterelektronenmikroskopischer Untersuchung gezeigt hat (Abb. 4), keine wie auch immer gearteten Fortsätze auf, eine Beobachtung, die nahe legt, dass diese unpaare Struktur nicht im Dienst der Spermientfernung steht, sondern möglicherweise ganz andere Funktionen hat, wie zum Beispiel die der Stimulation des Weibchens. Hier wären weitere Untersuchungen vonnöten. Interessanterweise scheint das innere Flagellum mehrfach und unabhängig voneinander innerhalb der Odonaten entstanden zu sein. Rehn (2003) beschreibt es von der Familie Synlestidae.

### Theorien zur Diversifikation der Insektengenitalien

Im Rahmen der Studien an Ligulae von Platycnemididen fiel auf, dass diese innerhalb von Gattungen, deren Vertreter sich durch markante Farbunterschiede auszeichnen, strukturell kaum variiert, dass aber auf der anderen Seite bei Gruppen, die relativ einförmig gezeichnet/gefärbt sind, die Ligula wiederum stärkere Unterschiede aufweisen kann. Gibt es also einen generellen Zusammenhang zwischen dem Habitus einer Art beziehungsweise ihrer Verhaltensökologie einerseits und ihrer Genitalmorphologie andererseits? In jedem Fall zeigt sich, dass in verschiedenen Artengruppen und Gattungen der Selektionsdruck auf sehr unterschiedliche Merkmalskomplexe wirken kann. Diese Beobachtung wirft die für Evolutionsbiologen interessante Frage nach den Mechanismen auf, welche für die Diversifikation der Insektengenitalien verantwortlich sind. Zurzeit sind fünf Erklärungsmöglichkeiten im Umlauf (Schilthuizen, 2003). Zum ersten wurde lange vermutet, dass sich Genitalstrukturen sozusagen als Nebenprodukt genetischer Veränderungen im Zuge der Evolution anderer morphologischer und anatomischer Merkmale entwickeln (Mayr, 1963). Wie Schilthuizen (2003) ausführt, gibt es inzwischen erhebliche Zweifel an diesem Modell, genauso wie an dem bekannten Schlüssel-Schloss-Prinzip (Shapiro und Porter, 1989). Gegen ersteres spricht, dass andere Merkmale innerhalb des Insektenkörpers nicht so schnell evolvieren wie die Genitalstrukturen, auf Letz-

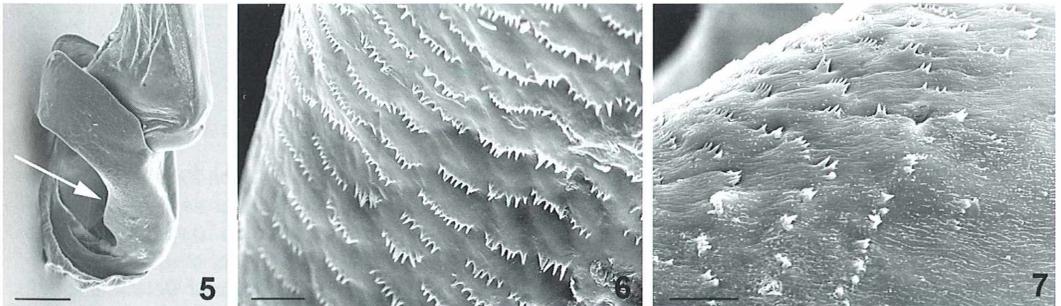


Abb. 5–6: *Idiocnemis obliterated*, Männchen. – Abb. 5: Ligula in lateraler Ansicht. Der Pfeil zeigt auf den Bereich, der im Detail in Abbildung 6 dargestellt ist, Maßstrich 100  $\mu\text{m}$ . – Abb. 6: Detailansicht der schuppenartigen Bezahnung, Maßstrich 5  $\mu\text{m}$ . – Abb. 7: *Idiocnemis strumidens*, Männchen. Detailansicht der schuppenartigen Bezahnung, Maßstrich 10  $\mu\text{m}$ .

tere folglich ein vergleichsweise höherer Selektionsdruck wirken muss. Die Schlüssel-Schloss-Hypothese ist ebenfalls in neuerer Zeit ins Wanken geraten, seit Arnqvist (1998) zeigen konnte, dass polygame Insektenarten im Vergleich zu monogamen eine viel höhere Diversität an Genitalstrukturen aufweisen. Das Gegenteil müsste der Fall sein, wenn man annimmt, dass Fehlpaarungen bei monogamen Arten viel schwerwiegendere Konsequenzen haben als bei polygamen Arten und daher die Selektion für Artunterschiede bei ersteren viel stärker wirken müsste.

Zurzeit wohl am besten untermauert ist die Hypothese der sexuellen Selektion als Motor der Diversifikation von Insektengenitalien (Schilthuizen, 2003). Hier kann zwischen drei verschiedenen Mechanismen unterschieden werden (Sirot, 2003): Zum ersten die Fähigkeit des Weibchens, selektiv Spermia nur von bestimmten Männchen zu verwenden, welche aufgrund von Merkmalen der Genitalstrukturen ausgewählt werden (Eberhard, 1985), zum zweiten der Wettbewerb zwischen den Männchen um eine erfolgreiche Befruchtung (Spermienkonkurrenz) und zum dritten die koevolutiven Veränderungen, die sich als Folge des Wettbewerbs zwischen Männchen und Weibchen über die Kontrolle der Fertilisation vollziehen.

Der erste Nachweis der Evolution von Genitalstrukturen durch postkopulative sexuelle Selektion bei Libellen wurde erst kürzlich geliefert (Cordero Rivera et al., 2004). Dabei konnte für vier verschiedene Prachtlibellen-Arten der Familie Calopterygidae eine erhebliche Variationsbreite bei den Genitalstrukturen zwischen allopatrischen (räumlich getrennten) Populationen aufgezeigt werden. Dies ging soweit, dass in verschiedenen Populationen einer Art unterschiedliche Mechanismen der Spermienentfernung gefunden wurden. Diese geographischen Unterschiede bilden eine Grundvoraussetzung für die Evolution durch sexuelle Selektion.

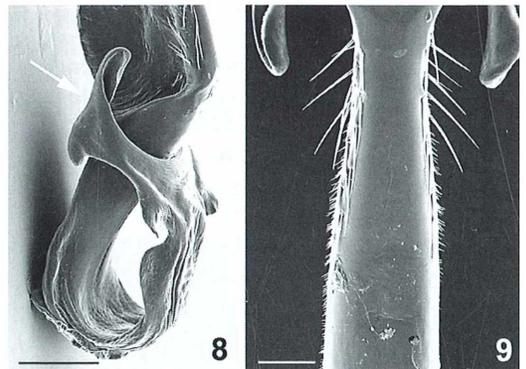
Die Ligula-Strukturen vieler Zygopteren-Arten sind noch nicht oder nur ungenügend untersucht. In Originalbeschreibungen neuer Arten wurde und wird die Ligula nicht immer berücksichtigt. Kuhn (1989) kommt zu dem Schluss, dass hier ein großes taxonomisches Potential vorhanden ist, und in der Tat hat auch die dem vorliegenden Artikel zugrunde liegende Untersuchung gezeigt, dass Merkmale der Ligula, ge-

rade auf höherem taxonomischen Niveau, wertvolle Hinweise auf Verwandtschaftsbeziehungen innerhalb der Zygoptera liefern können. Ein weites Feld also sowohl für zukünftige funktionell-morphologische als auch für phylogenetische Untersuchungen.

### Hinweise zur Präparation

Für die vorliegende Studie wurden ausschließlich tote Sammlungsexemplare, vorwiegend aus der Sammlung des Naturhistorischen Museums in Leiden, Niederlande, verwendet. Die folgenden Empfehlungen zur Präparation entstammen vor allem den eigenen Erfahrungen des Autors.

Für die Präparation der Ligula werden die getrockneten Sammlungsexemplare zunächst über Nacht in einer geschlossenen Box aufgeweicht, deren mit Papiertüchern ausgelegter Boden entweder mit einer 1%igen Phenoxetol-Lösung oder mit 1–2%igem Karbolwasser (Vorsicht: gesundheitsgefährdende Substanzen!) befeuchtet ist. Wird ausschließlich Wasser verwendet, so besteht die Gefahr der Schimmelbildung. Dabei werden die Exemplare selbst in kleinen Behältern oder Schäl-



**Abb. 8 und 9: *Thaumagrion funereum*, Männchen.** – **Abb. 8:** Ligula in lateraler Ansicht (die schaufelförmigen terminalen Lappen sind präparationsbedingt eingerollt, Maßstrich 100  $\mu\text{m}$ ). – **Abb. 9:** Ligulaschaft in ventraler Detailansicht. Es lassen sich zwei verschiedene Typen von Dornen erkennen: Robuste lange beziehungsweise kurze dünnere. Sie sind proximal ausgerichtet und funktionieren wahrscheinlich als Widerhaken, Maßstrich 30  $\mu\text{m}$ .

chen aufbewahrt, so dass sie nicht mit der wässrigen Lösung in Kontakt kommen. Die Ligula wird anschließend mit Hilfe einer feinen Pinzette, Insektennadel und/oder Mikroschere herauspräpariert und in 70%igen Alkohol überführt. Das circa 10 min lange Alkoholbad unter gelegentlichem Schwenken war in der Regel zur Reinigung des Objekts ausreichend; ein deutlich längerer Verbleib in Alkohol würde die Chitinstrukturen brüchig machen (ein Umstand, der die Präparation und Untersuchung von alkoholkonservierten Sammlungsexemplaren so schwierig macht). Bei den untersuchten Federlibellen-Arten erwies sich übrigens ein spezielles Trocknungsverfahren (wie z. B. die Kritische-Punkt-Trocknung) als nicht erforderlich, doch zeigte sich bei der Arbeit an kleineren Schlanklibellen-Arten (Familie Coenagrionidae), dass die Ligula dort so wenig robust sein kann, dass sich ohne spezielle Trocknung filigrane Fortsätze während des Trocknungsprozesses leicht umbiegen oder einrollen können (Abb. 8).

Nach einer kurzen Lufttrocknung wird die Ligula schließlich vorsichtig auf einen mit schwarzer Doppelklebefolie bestückten Objekthalter übertragen, in der Regel mit der Dorsalseite nach unten. Allerdings kann in seltenen Fällen eine horizontale Befestigung des Objekts erforderlich sein, um die Strukturen von mehreren Seiten (lange Flagellen) abbilden zu können. Bei der Montage des Objekts kann ein Tropfen Insektenleim gute Dienste leisten. Das Sputtern (Kathodenzerstäubung) mit Gold erfolgte in der vorliegenden Untersuchung bei einer Stromstärke von 20 mA über eine Länge von 1,5 bis 2 Minuten. Verwendet wurden die Mikroskope JEOL SEM 840 A und 6400.

### Danksagung

Für die Unterstützung während meiner elektronenmikroskopischen Studien danke ich Frau Gerda Lamers und Herrn Dr. Wessel de Priester (Institut Biologie Leiden) sowie Herrn Jeroen Goud (Naturalis, Leiden), Herrn Jan van Tol (Naturalis, Leiden) danke ich für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Der vorliegende Artikel entstammt einem Promotionsprojekt, das aus Mitteln der niederländischen Forschungsorganisation NWO sowie des Leidener Naturhistorischen Museums (Naturalis) gefördert wurde.

### Literaturhinweise

- Arnqvist, G.: Comparative evidence for the evolution of genitalia by sexual selection. *Nature* 393, 784–786 (1998).
- Eberhard, W. G.: Sexual selection and animal genitalia. Harvard University Press, Cambridge 1985.
- Gassmann, D.: The phylogeny of Southeast Asian and Indo-Pacific Calicnemiinae (Odonata, Platycnemididae). *Bonner Zoologische Beiträge* 53, 37–80 (2005).
- Kuhn, J.: Spermienkonkurrenz bei mitteleuropäischen Zygoptera – eine Übersicht. *Verhandlungen Westdeutscher Entomologentag 1988*, 174–201 (1989).
- May, M. L.: Phylogeny and taxonomy of the damselfly genus *Enallagma* and related taxa (Odonata: Zygoptera: Coenagrionidae). *Systematic Entomology* 27, 387–408 (2002).
- Mayr, E.: Animal species and evolution. Harvard University Press, Cambridge 1963.
- Miller, P. L., Miller, C. A.: Field observations on copulatory behaviour in Zygoptera, with an examination of the structure and activity of the male genitalia. *Odonatologica* 10, 201–218 (1981).
- O'Grady, E. W., May, M. L.: A phylogenetic reassessment of the subfamilies of Coenagrionidae (Odonata: Zygoptera). *Journal of Natural History* 37, 2807–2834 (2003).
- Parker, G. A.: Sperm competition and its evolutionary consequences in the insects. *Biological Reviews* 45, 525–568 (1970).
- Pfau, H. K.: Contributions of functional morphology to the phylogenetic systematics of Odonata. *Advances in Odonatology* 5, 109–141 (1991).
- Rehn, A. C.: Phylogenetic analysis of higher-level relationships of Odonata. *Systematic Entomology* 28, 181–239 (2003).
- Schilthuis, M.: Shape matters: the evolution of insect genitalia. *Proceedings of the Section Applied and Experimental Entomology of the Netherlands Entomological Society* 14, 9–15 (2003).
- Shapiro, A. M., Porter, A. H.: The lock-and-key hypothesis: evolutionary and biosystematic interpretations of insect genitalia. *Annual Review of Entomology* 34, 231–245 (1989).
- Siro, L. K.: The evolution of insect mating structures through sexual selection. *Florida Entomologist* 86, 124–133 (2003).
- Waage, J. K.: Dual function of the damselfly penis: sperm removal and transfer. *Science* 203, 916–918 (1979).
- Waage, J. K.: Evidence for widespread sperm displacement ability among Zygoptera (Odonata) and the means for predicting its existence. *Biological Journal of the Linnean Society* 28, 285–300 (1986).

Verfasser: Dr. Dirk Gassmann, Institute of Biology c/o National Museum of Natural History (Naturalis), NL-2300 RA Leiden, Niederlande, E-Mail: dirk\_gassmann@yahoo.com

# Das Stereomikroskop als vollwertiges Beobachtungsinstrument für Mikro-Objekte

Wolfgang Bettighofer

**Bei den kleinen Dingen des Lebens unterscheidet man gewöhnlich zwischen Makro- und Mikro-Objekten. Während Objekte wie Moose, Flechten und Kleintiere mit Hilfe von Balgengerät oder Stereomikroskop betrachtet und aufgenommen werden (Makro), wird für die Beobachtung kleinerer Lebewesen zum Beispiel aus dem Wassertropfen das biologische Mikroskop verwendet (Mikro). Das Stereomikroskop wird für Mikroobjekte meist lediglich als Präparierlupe eingesetzt, womit man diesem Gerät in Bezug auf sein mögliches Einsatzspektrum nicht gerecht wird.**

**B**etrachtet man Protisten und Kleintiere entsprechender Größe lediglich im Objektträger-Deckglas-Verhältnis, dann entgeht einem eine Menge Spannendes, was deren Lebensäußerungen anbelangt. Im Kleinhabitat der Petrischale oder des Uhrgläschens bewegen sich diese Organismen nahezu natürlich und man kann bei Betrachtung durch ein Stereomikroskop einen Eindruck von der Art und Weise bekommen, wie sie Nahrung suchen und sich in ihrer Umwelt verhalten. Diese Beobachtungsweise ermöglicht es uns außerdem, die dreidimensionale Struktur der Objekte zu erfassen. Eine intensive Beobachtung der Kleinlebewesen durch das Stereomikroskop hilft uns, die Abstraktion des zusammengesetzten Mikroskops im Geiste aufzulösen und die optischen Schnitte korrekt zusammenzusetzen. Dabei müssen wir jedoch oft akzeptieren, dass die beobachteten Lebewesen kleiner abgebildet werden, als wir das gerne hätten. Dies ist der Tribut, der für den stereoskopischen Eindruck, die Schärfentiefe und die störungsarme Umgebung für die Objekte zu entrichten ist.

Nun, bei der Beobachtung von Großtieren in der Natur benutzt man ebenso mit Gewinn das räumlich darstellende Fernglas und akzeptiert, dass der Abbildungsmaßstab des einzelnen Lebewesens geringer ist, als man sich das manchmal wünscht.

die dreidimensionale Wirkung zu schwach wird, ist eine weitere Vergrößerung der Objektivapertur bei diesem Gerätetyp nutzlos. Bei Tests mit Objektiven und Okularen unterschiedlicher Maßstabszahl und Apertur am STEMI SV6, welche mir die Firma ZEISS vor einiger Zeit freundlicherweise zur Verfügung gestellt hatte, konnte ich erkennen, dass das Objektiv 1,6 $\times$  zusammen mit dem pankratischen System auf Stellung 5 $\times$  für das oben beschriebene Beobachtungsszenarium noch gut nutzbar ist. Die rechnerische Apertur dieser Kombination wird mit 0,126 angegeben. Es zeigt sich jedoch, dass bei der Beobachtung von aquatischen Kleinhabitaten in Petrischale oder Uhrgläschen lediglich bis zu einer Vergrößerung von circa 80fach gute Ergebnisse erzielt werden, das heißt mit der Kombination „Objektiv 1,6 $\times$ , Zoomstellung 5 $\times$  und Okular 10 $\times$ “. Mit den Okularen 16 $\times$  konnte zwar die Apertur des Systems voll ausgeschöpft werden, aber es zeigte sich, dass der Bildkontrast ab einer Gesamtvergrößerung von 70–80 so stark abnimmt, dass sich der Einsatz von Okularen mit Vergrößerungsfaktoren wesentlich über 10 nicht lohnt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Verhältnisse bei den Geräten anderer Hersteller im Grunde ähnlich sind. Die besten Ergebnisse sind bis zu Vergrößerungsfaktoren von circa 60 zu erreichen, jedenfalls was den Kontrast anbelangt.

## Maßstäbe und Apertur

Beim Stereomikroskop ist die für unsere Belange nutzbare Apertur durch die abnehmende Schärfentiefe begrenzt. In dem Moment, in dem

## Beleuchtungsanordnung

Basis für ein gutes Bild bei allen mikroskopischen Verfahren ist eine adäquate Beleuchtung. Für das Stereomikroskop bietet sich eine Halo-



Abb. 1: Ehippium (Dauerei) eines Wasserfloh, 40fach. – Abb. 2: *Mougeotia* mit *Gymnodinium*-Cysten an Gallerstielen, 100fach. – Abb. 3: *Micrasterias truncata* auf *Sphagnum*-Blatt, daneben *Hyalotheca dissilens*, 170fach.

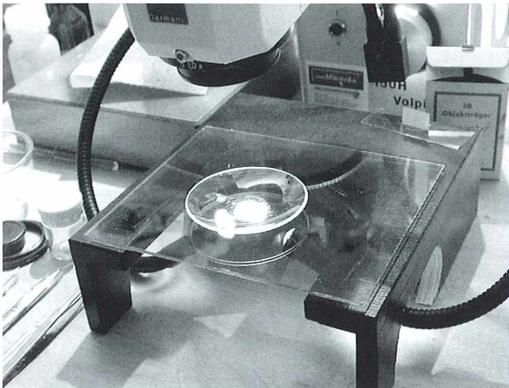


Abb. 4: Stemi-Gleittisch, Lichtleiter erzeugen Durchlicht-Dunkelfeld Beleuchtung.

gen-Kaltlichtquelle mit Leistung über 100 W oder Entsprechendes im LED-Sektor an. Entscheidend ist, dass die Lichtführung sauber kontrolliert werden kann: Schwanenhals-Lichtleiter mit Kollektorlinsen werden bei Halogen-Kaltlichtquelle angeraten. Um Strukturen herauszuarbeiten und eine hohe Beleuchtungsapertur zu erzielen, ist es sinnvoll, mit Streiflicht zu experimentieren. Je dunkler der Bild-unwichtige Hintergrund ist, desto entspannter kann längere Zeit beobachtet werden. Je nach Objektbeschaffenheit und gewünschtem Effekt ist es günstiger, von schräg oben (Auflicht-Dunkelfeld) oder unten (Durchlicht-Dunkelfeld) zu beleuchten beziehungsweise eine Kombination

von beidem einzusetzen. Die Beispielbilder (Abb. 1–3) sind wegen der fehlenden Dreidimensionalität natürlich nur ein sehr eingeschränktes Abbild des wahren Beobachtungseindrucks, illustrieren aber die angenehme Helligkeitsverteilung.

### Durchlicht-Dunkelfeld am Stereomikroskop

Um Durchlicht-Dunkelfeld mittels Schwanenhals-Lichtleiter an nahezu jedem Stereomikroskop realisieren zu können und gleichzeitig eine angenehm ruckfreie Objektführung zu realisieren, kann man sich mit geringem Aufwand einen Gleittisch aus Sperrholz bauen, welcher ermöglicht, dass die Lichtleiter seitlich von unten an das Mikroaquarium herangeführt werden.

Für die Gleittischkonstruktion benötigt man außer Sperrholz vier kleine Glasstreifen, Epoxdharz und eine Glasplatte passender Größe, die als Gleittisch fungiert (Abb. 4). Die Glasstreifen werden (als Gleitlager für die Glasplatte) auf den Tisch geklebt. Die Glasplatte wird aufgelegt, bevor der Epoxy-Kleber angezogen hat, und leicht angedrückt. So richten sich die Glasstreifen optimal aus. Nach Abbinden des Klebers ist der Tisch fertig.

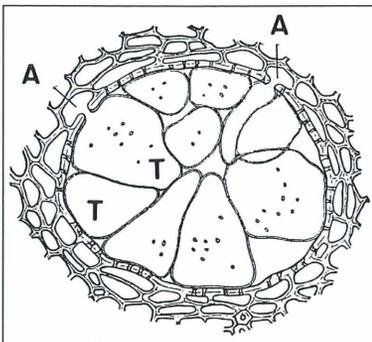
Verfasser: Wolfgang Bettighofer, Rutkamp 64, 24111 Kiel, E-Mail: wolfgang.bettighofer@gmx.de

## Kurze Mitteilung

### Thyllen des Holzparenchyms

Thyllen oder Füllzellen sind Auswüchse des Holzparenchyms, die zur Verkernung des Holzes beitragen. Thyllen verstopfen die Gefäße der Wasserleitung. Dies ist bei Verwundung von Holzgefäßen von Wichtigkeit, weil sie die mit Luft gefüllten Gefäße des reifen Holzes abschließen (Abb. 1). Die Verstopfung erfolgt durch Auswachsen der Protoplasten aus den Parenchymzellen, welche die Gefäße umgeben. Aus diesen dringen sie durch die Tüpfel einzeln oder zu mehreren in das Lumen ein, das sie dann vollständig oder teilweise ausfüllen können. Häufig kommt es in den Thyllen zur Verholzung durch Einlagerung von Gerbstoffen, Harzen usw., die vor Abbau schützen, auch wenn die Parenchymzellen bereits abgestorben sind. So entsteht das dunkel gefärbte Kernholz.

Eine Untersuchung der Thyllenbildung an Schösslingen der Weinrebe (*Vitis vinifera*) zeigt, dass auch durch den Rebenschnitt verwundete Achsen sehr schnell durch Thyllen geschlossen werden. Die genauere Kenntnis des Vorganges ist natürlich für den Winzer, der den Rebenschnitt ausführt, von Bedeutung. Rebenschnitt



**Abb. 1:** Querschnitt durch ein von Thyllen (T) ausgefülltes Gefäß, umgeben von lebenden Holzparenchymzellen. An zwei Stellen (A) ist sichtbar, wie die blasenartigen Ausstülpungen der Thyllen durch die Tüpfel hindurch in das Lumen des Gefäßes hineingewachsen sind. Die zahlreichen Thyllen füllen den Hohlraum mehr oder weniger aus, sodass dieser abgeschlossen wird (nach Schenk).

führt zu einer raschen und starken Thyllen-Bildung. Sie setzt sich circa 1 cm unter der Schnittfläche fort und dauert etwa sieben Tage nach der Verwundung an. Die Anzahl der gebildeten Thyllen ist je nach Abstand von den Schnittstellen unterschiedlich. Dies kann lichtmikroskopisch an Segmenten der Rebe untersucht werden. Dazu werden 20–25 µm dicke Schnitte 1–2 Stunden lang in kochendem Wasser aufgeweicht. Die Schnitte werden dann in einer Alkoholreihe entwässert, wobei der 50%-Stufe 1% Safranin O für 4 Stunden zugesetzt wird. Der 95%-Alkoholstufe wird 0,5% Fast Green FCF für 1 Minute zugesetzt. Nach weiterer Entwässerung und zweimaligem Spülen für 10 Minuten in Xylol werden die Schnitte beispielsweise auf Deckgläsern von Permount (Fisher Scientific, New Jersey) montiert und der Prozentsatz der durch Thyllen abgeschlossenen Gefäße ermittelt.

Die Entwicklung der Thyllen in geschnittenen Weinreben ist eine Antwort auf die Verwundung und in der Stärke der Reaktion abhängig von dem Alter des Xylems. Die Bildung der Thyllen erfolgt an der Basis des Rebenzweiges in einer breiteren Zone (maximal 4 mm). Auch erfolgt die Bildung der Thyllen an der Basis schneller (85% in 7 Tagen) als an der apikalen Region (maximal 2 mm tief), mit einem Verschluss von 50% in 7 Tagen. Die Hälfte der Gefäße wird aber nicht vollständig durch Thyllen abgeschlossen. Die Thyllen entwickeln sich simultan im einzelnen Gefäß, aber zeitlich unterschiedlich in den verschiedenen Gefäßen.

Diese Beobachtungen können für den Winzer, der den Rebenschnitt ausführt, von Interesse sein.

#### Literaturhinweis

Sun, Q., Rost, T. L., Matthews, M. A.: Pruning-induced tylose development in stems of current-year shoots of *Vitis vinifera* (Vitaceae). *American Journal of Botany* 93, 1567–1576 (2006).

Mikrokosmos  
3/2007

1 (6)

510543  
Bibliothek des Öö.  
Landesmuseums

Museumstraße 14  
4020 Linz

300229

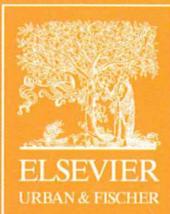


Mikroskope für **Ärzte**  
und **Heilpraktiker**,  
Viele **Astro-Angebote**

SONDEROPTIK  
ASTRONOMIE MIKROSKOPIE

**BW - OPTIK**  
DIREKTVERSAND **LANGNER-VOSS**

Telefon: 04962 / 996484 - FAX: 996717  
Blücherstr. 5 - D - 26871 Aschendorf



# Mikrokosmos

Zeitschrift für Mikroskopie

ToC Alert nutzen!

Abo-Bestellungen, Anfragen  
und Wünsche nach einem  
Probeabo richten Sie bitte an:  
Elsevier GmbH –  
Urban & Fischer  
Löbdegraben 14a,  
07743 Jena, Deutschland  
Tel.: +49(0)3641/62 64 44  
Fax: +49(0)3641/62 64 43  
E-Mail: k.ernst@elsevier.com

www.elsevier.de

ISSN 0026-3680

Nutzen Sie unseren **kostenlosen** Informationsservice!

Sie erhalten das aktuelle Inhaltsverzeichnis der Zeitschrift **Mikrokosmos** sofort  
nach Verfügbarkeit an Ihre E-Mail-Adresse geschickt.

So sind Sie immer ganz aktuell über den Inhalt der Zeitschrift informiert und erfahren  
automatisch, wann eine neue Ausgabe erscheint.

Elsevier - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Address <http://www.elsevier.de/mikrokosmos>

Warenkorb öffnen  
Anzahl Artikel: 0  
Warenwert: 0,00

Produktsuche: [Home](#) > [Journals/Fachzeitschriften](#) > [Biologie](#) > [0026-3680](#)

Erweiterte Suche

- Medizin & Gesundheit
- Medizin
- Medizinstudenten
- Komplementäre & Integrative Medizin
- Veterinärmedizin
- Zahnmedizin
- Phyto
- Gesundheitsfachberufe
- Psychologie
- Naturwissenschaft & Technik
- Biowissenschaften
- Chemie
- Geowissenschaften
- Information

**Mikrokosmos**  
ISSN 0026-3680  
Ogündet: 1907  
Ogündet von: der Deutschen Mikroskopischen Gesellschaft  
Sprache: deutsch  
2007: Band 58 (6)  
Format: 170 mm x 240 mm  
Wortzähl: Mikrokosmos

[Zur Bestellansicht](#)  
[Probierabo bestellen](#)

[ToC-Akt.](#) @ [weiterempfehlen](#) <=

**CHARAKTERISTIK**  
Die Mikroskopie ist nach wie vor eine der grundlegenden Untersuchungsmethoden der Biowissenschaften und vieler verwandter Nachbarwissenschaften.  
Der MIKROKOSMOS ist im deutschsprachigen Raum die einzige und weltweit eine der ganz wenigen Fachzeitschriften, die über alle Aspekte der angewandten Mikroskopie in Ausbildung, Beruf und Hobby berichten.  
Jedes Heft bietet alle F&E, Praxiserfahrungen, Themen...

[Inhaltsverzeichnis](#)  
[Presse](#)  
[Gesellschaften](#)  
[Abstract/Index](#)  
[Probabo](#)

[Udo Die Zelle 1.1.](#)  
26,50 Euro  
[mehr Info](#)

Registrieren Sie sich:  
[www.elsevier.de/mikrokosmos](http://www.elsevier.de/mikrokosmos)

Fachliteratur Biologie  
Wissen was dahinter steckt. Elsevier.

Irrtümer und Preisänderungen vorbehalten.

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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 2007

Band/Volume: [96\\_3](#)

Autor(en)/Author(s):

Artikel/Article: [Mikrokosmos 96\\_3 1](#)