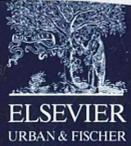


II-90372/100,6



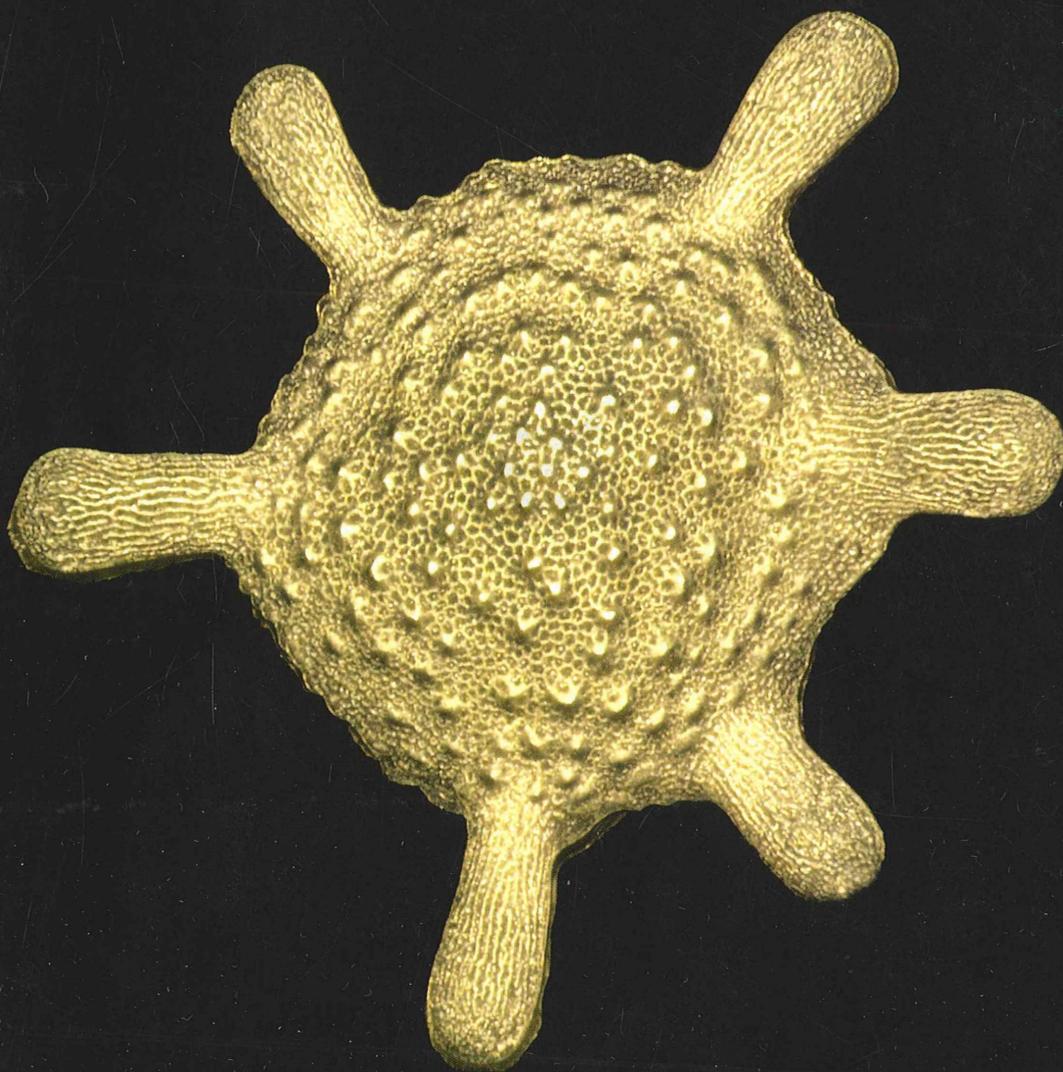
# MIKROKOSMOS

## 100. Jahrgang

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

◆ ISSN 0026-3680

◆ Heft 6, November 2011



Mitteilungsorgan für den Arbeitskreis Mikroskopie im Freundeskreis Botanischer Garten Köln, Arbeitskreis Mikroskopie im Naturwissenschaftlichen Verein zu Bremen, Arbeitskreis Rhein-Main-Neckar, Berliner Mikroskopische Gesellschaft e.V., Mikroskopie-Gruppe Bodensee, Mikroskopischer Freundeskreis Göppingen im Naturkundeverein Göppingen e.V., Mikrobiologische Vereinigung im Naturwissenschaftlichen Verein zu Hamburg, Mikrobiologische Vereinigung München, Mikroskopische Gesellschaft Wien, Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft der Naturwissenschaftlichen Vereinigung Hagen e.V., Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft Hannover, Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft Mainfranken, Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft Stuttgart, Mikroskopische Gesellschaft Zürich, Tübinger Mikroskopische Gesellschaft e.V.

## Inhalt

---

### Artikel

- 321** *Rhizophydium cyclotellae* und *R. acuforme*, zwei Algen parasitierende  
niedere Pilze  
*Bernd Laber*
- 329** Bioaerosole – Mikroskopisch kleine tierische und pflanzliche  
Schwebepartikel in der Atmosphäre  
*Robert Sturm*
- 337** Calcarinidae: Foraminiferen mit sternförmigen Gehäusen  
*Klaus Hausmann*
- 343** Pollen, Pilze, Parasiten – Ein Domizil der Mauerbiene  
*Erich Lüthje*
- 351** Drei neue Rädertierarten aus Nordwestdeutschland –  
Von der Probennahme bis zur Artbeschreibung  
*Eike F. Wilts*
- 363** Färbungen für paläontologische Objekte in Dünnschliffen  
*Holger Schimmel*
- 369** Variabler Hell-Dunkelfeld-Kontrast (VHDK) – Eine alternative Technik  
zur Untersuchung komplex strukturierter transparenter Objekte  
*Timm Piper und Jörg Piper*
- 377** Nurflügler-Samen von *Alsomitra macrocarpa* – Die besten pflanzlichen  
Gleitflieger der Welt. Teil 3: Feinbau und Stabilität  
*Werner Nachtigall und Alfred Wisser*

### Rubriken

- 328, 334, 336, 368,  
384**  
Nachrichten
- 360**  
Mikro-Galerie
- 381**  
Kurze Mitteilung
- 382**  
Mikro-Dialoge
- 383**  
Aus den  
Arbeitsgemeinschaften
- 383**  
Mikro-Markt

---

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:* Das Gehäuse der Foraminifere *Calcarina gaudichaudii* bei schwacher Vergrößerung, in Aufsicht, für die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung mit Gold beschichtet.  
Siehe Artikel K. Hausmann, S. 337–342.

# *Rhizophyidium cyclotellae* und *R. acuforme*, zwei Algen parasitierende niedere Pilze

Bernd Laber

Der deutsche Botaniker Friedrich Wilhelm Zopf erforschte Ende des 19. Jahrhunderts die Biologie der Kryptogamen, eine damals übliche, heute veraltete Bezeichnung für alle niederen Pflanzen und Pilze. Im Rahmen seiner Forschungsarbeiten publizierte er zahlreiche Erstbeschreibungen neuer Arten, darunter auch mehrere Arten von Algen parasitierenden niederen Pilzen. Zwei von Zopf erstmals beschriebene parasitische Pilze der Gattung *Rhizophyidium* werden hier vorgestellt: *Rhizophyidium cyclotellae*, ein Parasit zentrischer Kieselalgen und *R. acuforme*, ein Parasit von Grünalgen der Gattung *Chlamydomonas*.

Alle Mikroskopiker, die sich schon einmal mit der Untersuchung von Gewässerproben beschäftigt haben, sind dabei mit Sicherheit auf verschiedenste Algen gestoßen und vielleicht durch besonders ästhetische Gattungen und Arten zum weiteren Studium unterschiedlicher Algengruppen angeregt worden. Bei ihren Untersuchungen haben sie dann wahrscheinlich auch verschiedene und meist sehr auffällige Fressfeinde von Algen, wie zum Beispiel Amöben, Ciliaten, Rädertiere und Kleinkrebse kennengelernt. Eine andere Gruppe von Feinden, weit weniger auffällig als die Fressfeinde und deshalb oft nicht oder nur wenig beachtet, aber für die Algen genauso tödlich, sind die Algenparasiten.

## Algenparasiten

Dabei handelt es sich um verschiedenste, meist einzellige niedere Pilze, die ungeachtet ihrer phylogenetischen Verwandtschaft früher als Phycomyceten oder Algenpilze bezeichnet wurden. In den letzten Jahren hat die Systematik der niederen Pilze insbesondere durch die Einbeziehung molekularbiologisch-phylogenetischer Daten große Veränderungen erfahren, bei denen unter anderem die Klasse Phycomycetes aufgelöst wurde. Algenpilze, die Zellwände aus Zellulose und Zoosporen mit zwei Geißeln besitzen, wurden den Oomyceten (Oomycota) zugeordnet. Viele einzellige Phycomyceten mit eingeißeligen Zoosporen und Zellwänden aus Chitin, die kein Hyphenmycel bilden, wurden in die Abteilung Chytridiomycota,

Klasse Chytridiomycetes, mit den Ordnungen Chytridiales und Rhizophydiales eingeordnet (Hibbet et al., 2007).

In der Mitte des 19. Jahrhunderts beschrieb der deutsche Botaniker Alexander Braun die ersten algenparasitischen Pilze (Braun, 1851) und begründete die Gattung *Chytridium* als Vorläufer der heutigen Klasse Chytridiomycetes. Durch seine klassischen Veröffentlichungen hat Braun in den Jahren nach 1851 die Anzahl der Arten in der Gattung *Chytridium* erheblich erweitert (Braun, 1855a, 1855b, 1856) und gleichzeitig seine Zeitgenossen zum Studium der algenparasitischen Pilze inspiriert.

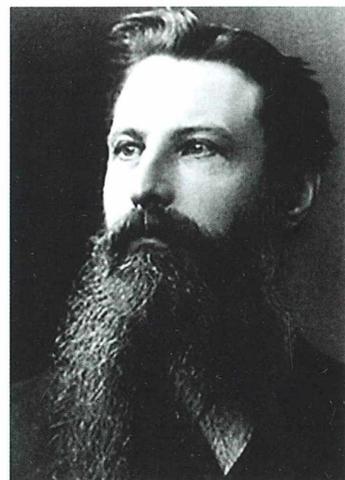


Abb. 1: Der Geheime Regierungsrat und Professor der Botanik Dr. Friedrich Wilhelm Zopf (Catalogus Professorum Halensis).

Wenige Jahre später widmete sich auch der deutsche Botaniker Friedrich Wilhelm Zopf intensiv der Untersuchung der Kryptogamen und publizierte im Rahmen seiner Forschungsarbeiten unter anderem zahlreiche Erstbeschreibungen von algenparasitischen Pilzen. Viele dieser Algenparasiten wurden nach ihrer Erstbeschreibung vor rund einhundert bis einhundertfünfzig Jahren nur noch selten beobachtet, und von vielen Arten existieren deshalb auch keine Mikrofotos. Dieser lückenhafte Kenntnisstand eröffnet dem Amateurmikroskopiker ein weites Betätigungsfeld, zumal sehr viele der früher nur sehr schwer zugänglichen und zur Bestimmung der Arten unverzichtbaren Originalpublikationen heute in digitalisierter Form im Internet oft frei verfügbar sind. Um zur Beschäftigung mit diesen auf Algen parasitierenden Pilzen anzuregen, werden hier die Lebenszyklen zweier von Friedrich Wilhelm Zopf erstmals beschriebener Chytridiomyceten aus der Familie Rhizidiaceae, *Rhizophyidium cyclotellae* und *R. acutiforme*, zusammen mit ihren Wirten an Hand von Mikrofotos vorgestellt und beschrieben.

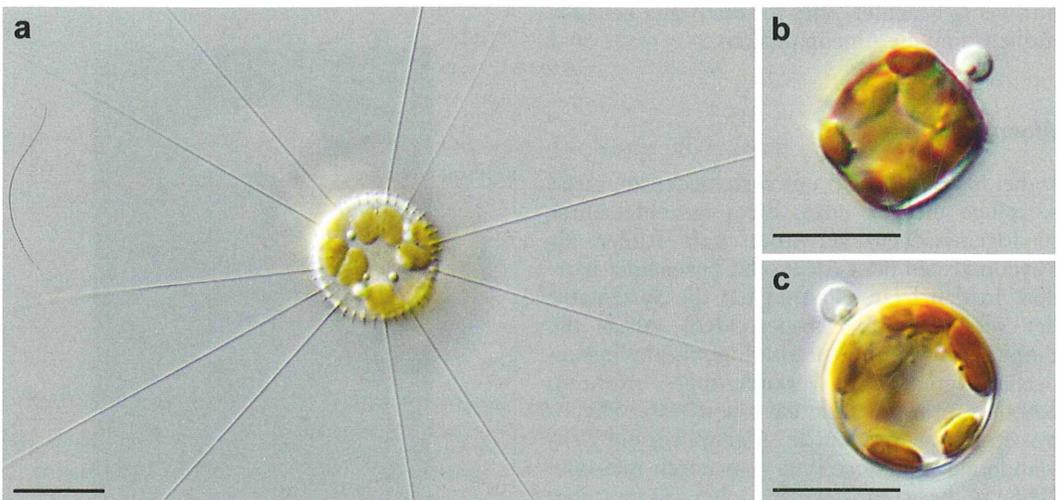
### *Rhizophyidium cyclotellae* Zopf 1887

#### Zopf und seine Entdeckungen

Der 1846 geborene Friedrich Wilhelm Zopf (Abb. 1) war zuerst Volksschullehrer, studierte

dann aber Naturwissenschaften an der Universität Berlin und lehrte von 1880 bis 1883 als außerordentlicher Professor an der landwirtschaftlichen Hochschule Berlin und zugleich von 1881 bis 1883 als Privatdozent an der Universität Berlin. 1882 habilitierte er sich an die Universität Halle um, erhielt danach dort eine Stelle als Vorstand des kryptogamischen Laboratoriums zur Untersuchung der blütenlosen Pflanzen und wurde 1887 zum besoldeten außerordentlichen Professor ernannt. 1899 wurde Zopf als Ordinarius für Botanik an die Philosophische Fakultät der Akademie Münster berufen. Hier leitete er als Direktor des botanischen Universitätsinstituts auch den botanischen Garten und trieb als Rektor (1902/03) den Ausbau der Akademie zur vollwertigen Universität voran. 1909 verstarb Friedrich Wilhelm Zopf in Münster (Catalogus Professorum Halensis). Während seiner Tätigkeit in Halle beschrieb er 1887 eine neue *Rhizophyidium*-Art, *R. cyclotellae*, als Parasit von zentrischen Kieselalgen der Gattung *Cyclotella*. Die von dem Parasiten befallenen Kieselalgen stammten aus der so genannten „Stinksaale“, wahrscheinlich ein Bereich der Saale, in dem die Kloaken der Stadt entwässert wurden.

Bei der zu den Rhizophydiales gehörenden Gattung *Rhizophyidium* handelt es sich um eine Gruppe von meist im Wasser lebenden ursprünglichen Pilzen, die sich durch begeißelte



**Abb. 2:** **a** Die im Idsteiner Schlossteich gefundene zentrische Kieselalge mit ihren auffallend langen Schwebeborsten; Schalenansicht, auf die Oberfläche fokussiert. **b** und **c** Zoosporen von *R. cyclotellae* auf der Gürtelbandseite der Kieselalge. Die Fokusebene liegt genau in der Mitte der Zelle im Überlappungsbereich von Ober- und Unterschale. **b** Gürtelbandsansicht, **c** Schalenansicht. Messbalken 10 µm.

Schwärmsporen (Zoosporen) vermehren. Die Zoosporen besitzen eine einzelne, als Schuborganell wirksame Geißel und enthalten einen auffallend großen Ölkörper. Viele Arten der Gattung *Rhizophyidium* sind Parasiten auf Planktonalgen (siehe Schnepf, 1999). Die Entwicklung dieser Pilze verläuft im Allgemeinen so, dass sich die bewegliche Zoospore an ihren Wirt anheftet, ihre Geißel einschmilzt, sich mit einer Wand umgibt und einen feinen Keimschlauch in das Innere der Wirtszelle treibt. Dieser entwickelt sich zu einem zarten und fein verzweigten wurzelartigen Organell, dem Rhizoid, das zur Aufnahme der durch die Zerstörung des Zellinhalts der Wirtszelle frei werdenen Nährstoffe dient. Der außerhalb des Wirtes verbliebene Teil der Zoospore vergrößert sich durch die Aufnahme der Nährstoffe stark und entwickelt sich zu einem reproduktiven Organ, dem Zoosporangium, in dem die der Vermehrung und Verbreitung dienenden neuen Zoosporen gebildet werden. Ist der Zellinhalt des Wirtes nahezu vollständig verdaut und sind die sich entwickelnden Zoosporen im Inneren des Zoosporangiums herangereift, verlassen sie dieses durch eine oder mehrere präformierte Öffnungen (Poren), die im unreifen Sporangium durch Gallertpfropfen verschlossen waren.

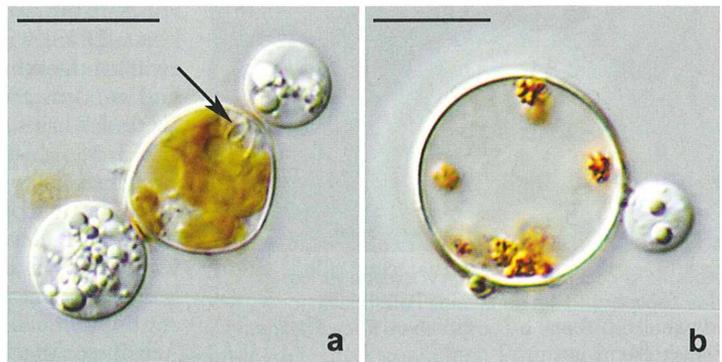
Zopf schrieb, dass die 1,8–2,5 µm großen, kugelförmigen Zoosporen von *R. cyclotellae* ihre Wirte immer nur an ganz bestimmten Stellen, nämlich an den Grenzlinien zwischen den Schalen und den Gürtelbändern infizierten. Er vermutete, dass der Keimschlauch der Zoosporen an anderen Stellen die Kieselsäureschalen nicht auflösen könne. Der in den Wirt eingedrungene Keimschlauch entwickelte sich zu einem fein verästelten Rhizoid und bewirkte starke destruktive Veränderungen im Inhalt der *Cyclo-*

*tella*-Zelle. Am auffälligsten waren die Veränderungen an den kleinen plattenförmigen Chloroplasten, die sich von den Zellwänden ablösten, zu rundlichen Klümpchen zusammenschumpften und sich schließlich schmutzig bräunlich färbten. Im weiteren Verlauf der Entwicklung wurde der gesamte Zellinhalt einschließlich des Zellkerns zerstört und aufgezehrt, so dass nur noch die bräunlichen Chloroplastenreste übrig blieben. Gleichzeitig vergrößerte sich der außerhalb der Wirtszelle verbliebene Teil der Zoospore zu einem Zoosporangium. An Stelle des stark lichtbrechenden Öltröpfchens der den Wirt infizierenden Zoospore traten zuerst zahlreiche kleinere, ebenfalls stark lichtbrechende Körperchen, die während der weiteren Reifung des Zoosporangiums wieder zu größeren runden Öltröpfchen kondensierten. Das reife Zoosporangium beschrieb Zopf (1887) als – von der Seite gesehen – kurz birnenförmig, niemals genau kugelig und wohl nicht über 12 µm messend. Allerdings sehen die von ihm gezeichneten, sich entwickelnden und reifen Zoosporangien nicht birnenförmig aus, sondern sind eher kreisrund oder leicht oval. Die reifen Zoosporen verließen schließlich die Zoosporangien durch eine bis drei Mündungen, je nach Größe der Zoosporangien. Die entleerten Zoosporangien kollabierten schnell und wurden bald unkenntlich.

### Eigene Funde

Im Februar dieses Jahres fanden sich in Wasserproben aus dem α-mesosaprobien Schlossteich in Idstein eine größere Anzahl von zentrischen Kieselalgen mit sehr langen Schwebedorsten (Abb. 2a), bei denen es sich entweder um eine Art aus der Gattung *Cyclotella* oder *Stephanodiscus* handelte. Viele dieser Algen waren von

**Abb. 3:** **a** Stark deformierte Kieselalge mit zwei fast voll ausgereiften Zoosporangien. Rechts oben ist im Inneren der Wirtszelle das nahrungsaufnehmende Rhizoid zu erkennen (Pfeil). **b** Abgestorbene Kieselalge mit einem fast voll ausgereiften Zoosporangium. Messbalken 10 µm.



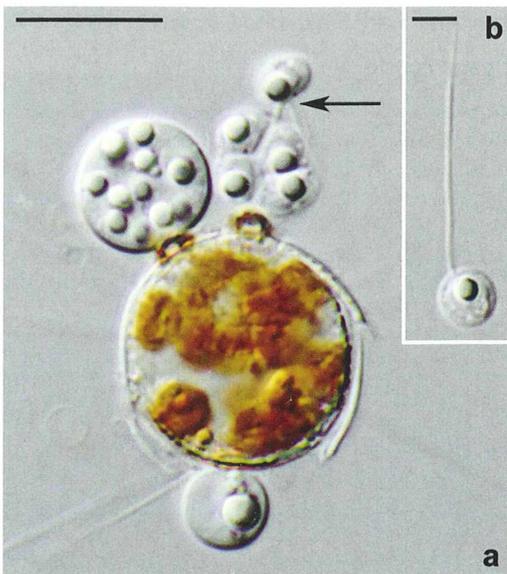
einem Parasiten befallen, auf den Zopfs Beschreibung von *R. cyclotellae* sehr gut zutraf. Eine oder mehrere circa 3  $\mu\text{m}$  große Zoosporen dieses Parasiten hatten sich auf der Gürtelbandseite der Kieselalgen im Überlappungsbereich von Ober- und Unterschale festgesetzt (Abb. 2b, c) und wahrscheinlich an dieser Nahtstelle einen Keimschlauch ins Innere des Wirtes getrieben. Dort verzweigte sich der Keimschlauch zu einem meist nur schwer erkennbaren Rhizoid (Abb. 3a). Durch den Parasiten wurde das Cytoplasma aufgezehrt und die linsenförmigen Chloroplasten wurden so weit zerstört, dass nur noch kleine bräunliche Klümpchen übrigblieben (Abb. 3b). Gleichzeitig wuchs die außen an der Algenzelle anhaftende Zoospore zu einem circa 7–11  $\mu\text{m}$  großen Zoosporangium heran (Abb. 3a, 4a). Nachdem der Zellinhalt des Wirtes verdaut und die befallene Alge abgestorben war, bildete sich in der Zellwand von reifen Zoosporangien, die an den zahlreichen großen, runden Öltröpfchen im Inneren zu erkennen waren, eine Pore, durch welche die Zoosporen eine nach der anderen ins Freie gelangten (Abb. 4). Die Zahl der von Parasiten befallenen Algen wurde nicht quantifiziert, lag aber grob geschätzt bei etwa 10%, so dass ein signifikanter Einfluss des Parasiten auf die Größe der Algen-

population anzunehmen ist. Die aus dem Schlossteich entnommenen Wasserproben enthielten auch zahlreiche Kieselalgen der Art *Synedra acus*, von denen ein erheblicher Anteil von einem nicht näher bestimmten Chytridomyceten befallen waren. Bei vereinzelt in den Proben vorhandenen *Asterionella* sp. konnte hingegen kein Parasitenbefall festgestellt werden.

### Diskussion

Der hier beschriebene Parasit stimmt weitgehend mit der Erstbeschreibung von Zopf überein. Einzig die Zoosporen sind mit einem Durchmesser von circa 3  $\mu\text{m}$  etwas größer als von Zopf angegeben. Deshalb handelt es sich mit ziemlicher Sicherheit um *R. cyclotellae*. Ob es sich bei dem Wirt um Kieselalgen der Gattung *Cyclotella* oder *Stephanodiscus* handelt, ließ sich nicht eindeutig klären, weil nur lebende Algen untersucht wurden, zur Gattungs- und Artbestimmung aber die Präparation der Algen und die Untersuchung der Schalendetails zwingend erforderlich gewesen wäre. In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage, ob Zopf zwischen den beiden Algengattungen unterschieden hat, weil in der zeitgenössischen Literatur nicht oder nicht immer zwischen den beiden Gattungen unterschieden wurde. So ist zum Beispiel in dem von dem deutschen Botaniker und Diatomeenkundler Friedrich Traugott Kützing 1844 verfassten Werk „Die kieselchaligen Bacillarien oder Diatomeen“ die Gattung nicht enthalten, weil die Erstbeschreibung erst 1846 von Ehrenberg an Hand von Material aus Nordamerika erfolgte (Ehrenberg, 1846). Kützings Werk hat Zopf aber mit allergrößter Wahrscheinlichkeit vorgelegen und wurde von ihm sicher auch zur Bestimmung seiner Diatomeen verwendet, weil er der Neffe von Kützing war (Friedrich, 2007). Bei Rabenhorst (1853) wird die Gattung *Stephanodiscus* zwar aufgeführt, aber ohne Abbildungen, und in dem zweibändigen, reich illustrierten Werk des britischen Diatomeenforschers Smith (1853, 1856) ist nur die Gattung *Cyclotella* beschrieben.

Nach der Erstbeschreibung 1887 wurde *R. cyclotellae* in der Literatur nur noch selten erwähnt. Sicher dokumentiert ist nur das Vorkommen in zwei französischen Seen (Rasconi et al., 2009). Besonders interessant ist aber die Arbeit von Bailey-Watts und Lund (1973), in



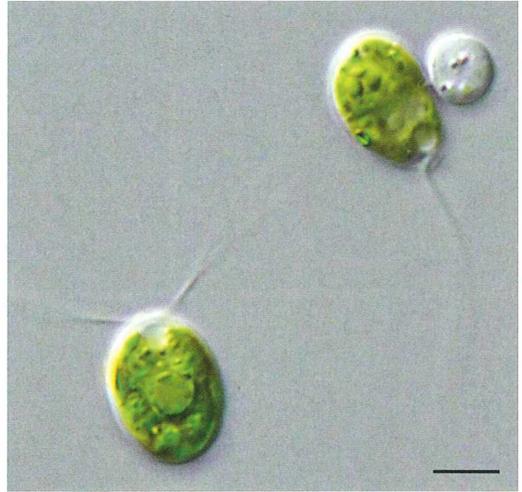
**Abb. 4:** **a** Zoosporen von *R. cyclotellae* verlassen das Zoosporangium durch eine Pore (Pfeil). Messbalken 10  $\mu\text{m}$ . **b** Zoospore von *R. cyclotellae*. Messbalken 2  $\mu\text{m}$ .

der über den Befall der zentrischen Kieselalge *Stephanodiscus rotula* im schottischen Loch Leven durch einen Parasiten berichtet wird, von dem die Autoren vermuten, dass er mit *R. cyclotellae* identisch ist. Diese Arbeit dokumentiert nicht nur das Vorkommen von *R. cyclotellae*, sondern enthält auch quantitative Angaben über das Ausmaß des Parasitenbefalls. Im Untersuchungszeitraum von August bis Oktober 1970 unterlag sowohl die Zahl der Wirtszellen als auch die Zahl der Parasiten starken periodischen Schwankungen. Zur Zeit des maximalen Parasitenbefalls waren aber bis zu 20% der Kieselalgen infiziert. Die Autoren vermuten, dass immer dann, wenn die Populationsdichte der Algen einen hohen Wert erreicht hatte, die dann einsetzende massenhafte Vermehrung des Parasiten und von anderen Fressfeinden einen katastrophalen Zusammenbruch der Algenpopulation bewirkte.

### **Rhizophyidium acuforme (Zopf) Fischer 1892**

#### *Parasitierung von Chlamydomonas*

Bereits 1884 hatte Zopf die Erstbeschreibung des Chytridiomyceten *Rhizidium acuforme* (*Rhizophyidium* (*Rhizophidium*) *acuforme*) veröffentlicht, der auf Grünalgen der Gattung *Chlamydomonas* parasitiert. Bei den zur Ordnung Volvocales gehörenden Vertretern von *Chlamydomonas* handelt es sich um circa 15 bis 20 µm lange, einzellige, ovale, durch zwei Geißeln bewegliche Algen mit einem meist glockenförmigen Chromatophor und einem Augenfleck. Sie vermehren sich in kleinen und kleinsten nährstoffreichen Gewässern oft massenhaft und können so genannte Wasserblüten bilden. Gerade in solchen Massenansammlungen von *Chlamydomonas* kann man, besonders wenn die Population ihr Entwicklungsmaximum bereits überschritten hat, häufig auch Individuen entdecken, die durch den parasitischen Pilz *Rhizophyidium acuforme* befallen sind (Abb. 5). In seiner Veröffentlichung hat Zopf (1884) den Lebenszyklus dieses Pilzes detailliert beschrieben und in mehreren farbigen Zeichnungen illustriert. Im Folgenden wird Zopfs Beschreibung zusammengefasst und durch eigene Mikrofotos ergänzt. Die hier gezeigten *Chlamydomonas* stammten aus einer im Februar 2010 erfolgten Massenentwicklung in einem mit stark gedüngtem Gießwasser gefüllten Blumentopfuntersetzer. Von *R. acuforme*

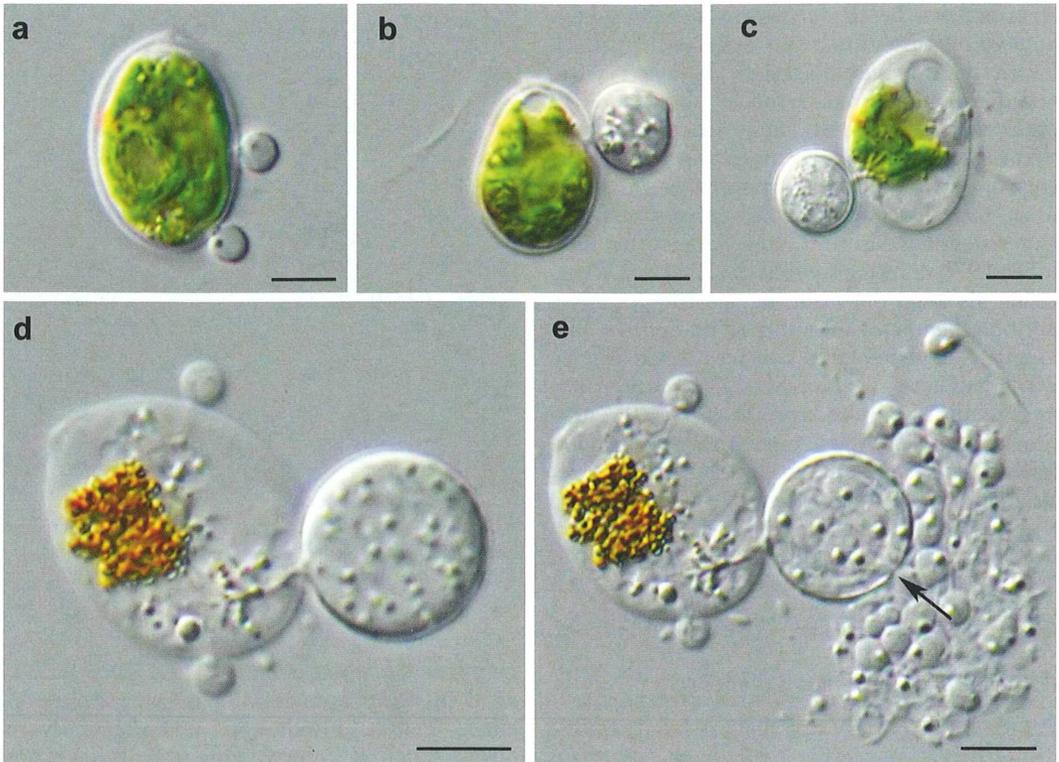


**Abb. 5:** Zwei *Chlamydomonas*-Zellen. Das Individuum oben rechts wird von *R. acuforme* parasitiert. Messbalken 5 µm.

befallene *Chlamydomonas*-Zellen wurden aber auch im Spätsommer 2009 in einer Pfütze in einem Wald bei Idstein und im Februar 2009 in einem Teich gefunden, unmittelbar nachdem eine den Teich bedeckende Eisschicht aufgetaut war.

#### *Entwicklung von Rhizophyidium acuforme*

Die Zoosporen von *R. acuforme* schwärmen zu den *Chlamydomonas*-Zellen hin und setzen sich, einzeln oder zu mehreren, an deren Oberfläche fest (Abb. 6a). Dann treibt jede Zoospore einen Keimschlauch in die Wirtszelle (Abb. 6b), der sich zu einem feinen Rhizoid verzweigt (Abb. 6c). Gleichzeitig vergrößert sich die außen auf der *Chlamydomonas*-Zelle aufsitze Zoospore zum Zoosporangium. Unreife Zoosporangien haben einen relativ amorphen Inhalt (Abb. 6b, c), in reifen Zoosporangien sind die Öltropfen der einzelnen, noch undifferenzierten Zoosporen deutlich zu erkennen (Abb. 6d). Am Ende des Entwicklungszyklus dringen die Zoosporen durch eine vorher mit Gallerte verschlossene Pore in der Wand des Zoosporangiums nach außen (Abb. 6e). Der Inhalt der infizierten *Chlamydomonas*-Zelle wird während der Entwicklung des Zoosporangiums völlig aufgezehrt, die Zelle stirbt infolgedessen ab. Besonders gegen Ende der Infektion einer Population kann es



**Abb. 6:** **a** *Chlamydomonas*-Zelle, die von zwei Zoosporen der Art *R. acuforme* befallen ist. **b** Birnenförmiges Zoosporangium mit dem ins Innere der Wirtszelle führenden Keimschlauch. **c** Der Inhalt der *Chlamydomonas*-Zelle ist weitgehend zerstört. Dadurch wird das nahrungsaufnehmende Rhizoid sichtbar. **d** Durch *R. acuforme* abgetötete *Chlamydomonas*-Zelle mit einem reifen Zoosporangium und zwei nicht mehr zur Entwicklung gelangten Zoosporen. **e** Die reifen Zoosporen verlassen das Zoosporangium durch eine Pore in der Zellwand (Pfeil). Oben rechts eine Zoospore mit ausgestreckter Geißel. Messbalken 5 µm.

vorkommen, dass auch bereits infizierte *Chlamydomonas*-Zellen mit einem schon recht weit entwickelten Zoosporangium nochmals von Zoosporen infiziert werden. Diese Zoosporen können ihre Entwicklung aber nicht abschließen, sondern sterben auf Grund von Nahrungsmangel ab (Abb. 6d, e). Die von Zopf beobachteten und beschriebenen Dauersporen konnten nicht beobachtet werden.

#### Literaturbeschreibungen versus eigene Beobachtungen

Da sich viele algenparasitische Pilze morphologisch nur wenig unterscheiden, ist ihre Bestimmung häufig mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Zopf (1884) schreibt, dass die Zoosporangien von *R. acuforme*, deren Form einer Birne entspricht, zwischen 6 und 16 µm groß

sind, und er gibt an, dass die circa 2 µm großen Zoosporen durch eine polare, gallertig werdende Stelle das Sporangium verlassen. Die hier gezeigten reifen Zoosporangien waren, in guter Übereinstimmung mit den Angaben von Zopf, durchschnittlich um die 10 µm groß, die Zoosporen hatten einen Durchmesser von etwa 2 µm. Viele der beobachteten Zoosporangien sahen, bedingt durch den bei der mikroskopischen Beobachtung resultierenden optischen Schnitt, kreisförmig und nicht birnenförmig aus. Allerdings konnten bei optimaler Lage auch birnenförmige Zoosporangien beobachtet werden (Abb. 6b), und auch Zopf hat einige, vor allem unreife, Zoosporangien rund und nicht birnenförmig gezeichnet. Der fehlende Nachweis von Dauersporen kann auch daran liegen, dass die Beobachtung des Parasiten nur über den kurzen Zeitraum von einer Woche er-

folgte und die Dauersporen eventuell erst später in der Entwicklung des Parasiten gebildet werden. Zopf (1884) schreibt nämlich: *Mitte März fand sich zunächst nur die Sporangienfructification, aber gegen Ende März bereits waren Dauersporenpflänzchen vorhanden*. Auf Grund der Übereinstimmungen mit der Erstbeschreibung handelt es sich bei dem hier beschriebenen Parasiten von *Chlamydomonas* deshalb mit ziemlicher Sicherheit um *R. acuforme*.

Auch *R. acuforme* ist nach der Erstbeschreibung nur noch selten in der Literatur erwähnt worden. Grove (1917) berichtete von einem Befall von *Chlamydomonas intermedia* in Harborne, Warwickshire, England. Dieser Nachweis wurde aber von Canter (1953) auf Grund von kleineren Unterschieden bei den Rhizoiden und des fehlenden Nachweises von Dauersporen als unsicher eingestuft. Couch (1932) beschreibt einen bei Chapel Hill in den USA gesammelten Algenparasiten, den er für *R. acuforme* hält. Da dieser Parasit, bei dem Couch ebenfalls keine Dauersporen beobachten konnte, aber deutlich kleiner als *R. acuforme* war und nicht *Chlamydomonas*, sondern *Palmodycton* sp. befallen hatte, ist es mehr als zweifelhaft, ob es sich tatsächlich um *R. acuforme* gehandelt hat. Lukavsky (1970) berichtete von einem Befall von *Chlamydomonas braunii* durch *R. acuforme* in einem Wasserspeicher im Erzgebirge in der Nähe von Litvinov, Tschechien. Diese Publikation enthält auch quantitative Daten zum Ausmaß des Befalls. Lukavsky hatte an verschiedenen Stellen und aus verschiedenen Tiefen Proben aus dem Wasserspeicher entnommen, die Zahl der von dem Parasiten befallenen und nicht befallenen *Chlamydomonas*-Zellen bestimmt und so ermittelt, dass an manchen Stellen bis zu 50% der Algen durch den Parasiten befallen waren. Schließlich erwähnt Das-Gupta (1982), dass *R. acuforme* auch in Indien nachgewiesen wurde.

Für beide hier vorgestellten *Rhizophydium*-Arten wurde gezeigt, dass sie unter für sie günstigen Bedingungen einen großen Prozentsatz ihrer Wirte parasitieren können. Deshalb ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass in Gewässerproben, besonders wenn sie Algen in großer Zahl enthalten, auch algenparasitische Pilze vorhanden sind. Häufig bedarf es nur der sorgfältigen Durchmusterung der gesammelten Proben, um diese auch zu finden.

## Literaturhinweise

- Bailey-Watts, A. E., Lund, J. W. G.: Observations on a diatom bloom in Loch Leven, Scotland. *Biol. J. Linn. Soc.* 5, 235–253 (1973).
- Braun, A.: Betrachtungen über die Erscheinung der Verjüngung in der Natur insbesondere in der Lebens- und Bildungsgeschichte der Pflanze. Verlag Wilhelm Engelmann, Leipzig 1851. <http://www.archive.org/details/betrachtungenbe00brauooog>
- Braun, A.: Über *Chytridium*, eine Gattung einzelner Schmarotzergewächse auf Algen und Infusorien. *Monatsber. Königl. Preuss. Akad. Wiss. Berlin* 21–83 (1855a).
- Braun, A.: Über *Chytridium*, eine Gattung einzelner Schmarotzergewächse auf Algen und Infusorien. *Monatsber. Königl. Preuss. Akad. Wiss. Berlin* 378–384 (1855b).
- Braun, A.: Über einige neue Arten der Gattung *Chytridium* und die damit verwandte Gattung *Rhizidium*. *Monatsber. Königl. Preuss. Akad. Wiss. Berlin* 587–592 (1856). <http://www.archive.org/download/berichtberdiez56berl/berichtberdiez56berl.pdf>
- Canter, H. M.: Annotated list of British aquatic chytrids. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 36, 278–303 (1953).
- Catalogus Professorum Halensis. <http://www.catalogus-professorum-halensis.de/zopf/wilhelm.html>
- Couch, J. N.: *Rhizophydium*, *Phlyctochytrium*, and *Phlyctidium* in the United States. *Jour. Elisha Mitchell Sci. Soc.* 47, 245–260 (1932). <http://dc.lib.unc.edu/cgi-bin/showfile.exe?CISOROOT=/jncas&CISOPTR=1554>
- Das-Gupta, S. N.: Discourse on aquatic Phycomycetes of India. *Indian Phytopath.* 35, 193–216 (1982).
- Ehrenberg, C. G.: Neue Untersuchungen über das kleinste Leben als geologisches Moment mit kurzer Charakteristik von 10 neuen Generibus und 66 neuen Arten. Auszug aus einem Vortrage in der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 27. Februar 1845. Verlag L. Voss, Leipzig 1845. <http://www.mdz-nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn:nbn:de:bvb:12-bsb10283358-7>
- Friedrich, C.: Friedrich Traugott Kützing – Apotheker und bedeutender Botaniker. *Pharmazeutische Zeitung*, Ausgabe 49 (2007). <http://www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=4255>
- Grove, W. B.: *Rhizophydium acuforme* (Zopf) Fischer. *New Phytologist* 16, 177–180 (1917). <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.1917.tb07239.x/pdf>
- Hibbet, D. S. et al. (66 Koautoren): A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. *Mycological Research* 111, 509–547 (2007).
- Kützing, F. T.: Die kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen. Verlag W. Köhne, Nordhausen 1844. <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k97959n.r=Die+kieselschaligen+Bacillarien+oder+Diatomeen.langFR>
- Lukavsky, J.: Observations on some parasitic Chytridiomycetes. *Arch. Protistenk.* 112, 138–144 (1970).
- Rabenhorst, L.: Die Süßwasser-Diatomeaceen (Bacillarien). Für Freunde der Mikroskopie. Verlag E. Kummer, Leipzig 1853. <http://www.archive.org/details/diesswasserdi00rabe>

Rasconi, S., Jobard, M., Jouve, L., Sime-Ngando, T.: Use of calcofluor white for detection, identification, and quantification of phytoplanktonic fungal parasites. *Appl. Environ. Microbiol.* 75, 2545–2553 (2009).

Schnepf, E.: Beobachtungen an Protisten, die sich von Algen ernähren. III. Teil: Pilze – Chytridinen. *Mikrokosmos* 88, 181–187 (1999).

Smith, W. A.: A synopsis of the British Diatomaceæ: with remarks on their structure, functions and distribution; and instructions for collecting and preserving specimens. Vol. 1. London 1853. <http://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/10706>

Smith, W. A.: A synopsis of the British Diatomaceæ: with remarks on their structure, functions and distribution; and instructions for collecting and

preserving specimens. Vol. 2. London 1856. <http://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/10706>

Zopf, W.: Zur Kenntnis der Phycomyceten. I. Zur Morphologie und Biologie der Ancylisten und Chytridiaceen. *Nova Acta Acad. Leop.-Carol.* 47, 143–236 (1884). <http://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/4084>

Zopf, W.: Über einige niedere Algenpilze (Phycomyceten) und eine neue Methode ihre Keime aus dem Wasser zu isolieren. *Abhandl. Naturforsch. Gesell. Halle* 17, 77–102 (1887). <http://www.archive.org/details/abhandlungendern178892natu>

Verfasser: Dr. Bernd Laber,  
Graf-von-Stauffenberg-Straße 12, 65510 Idstein,  
E-Mail: [bernd.laber@t-online.de](mailto:bernd.laber@t-online.de)



## Nachricht

### DNA-Barcoding: Die Bibliothek des Lebens wächst erfolgreicher als erwartet

Wissenschaftler der Zoologischen Staatssammlung München konnten in den ersten beiden Projektjahren der Forschungsinitiative „Barcoding Fauna Bavarica“ die Gencodes von 7.500 bayerischen Tierarten erfassen. Dazu werteten die Forscher über ihren kanadischen Projektpartner iBOL 13.000 Einzelproben sehr kostengünstig aus. Damit schreiten die Forscher mit ihrer geplanten Bayerischen Bibliothek des Lebens deutlich schneller voran als geplant.

„Barcoding Fauna Germanica“ ist Teil der globalen Barcoding Initiative des „Canadian Centre of DNA-Barcoding“ in Guelph/Kanada. Das ehrgeizige Ziel dieser Initiative ist die Erfassung von bestimmten Gensequenzen, den so genannten DNA-Barcodes, bei allen bekannten Tierarten. Dies sind nach aktuellen Schätzungen weltweit etwa 1,8 Millionen Spezies. Die Forscher stellen die Barcodes mit der online-Datenbank BOLD ins Internet und machen sie so öffentlich verfügbar. Über die DNA-Barcodes können Zoologen weltweit Tierarten schnell und zuverlässig bis zur Art bestimmen. Anwendungsgebiete sind unter anderem die Schädlingsbekämpfung, ökologische Forschung, Naturschutzplanung, Lebensmittelkontrolle oder Erforschung potenziell gefährlicher Krankheitsüberträger, die sich durch den Klimawandel bis nach Deutschland ausbreiten.

Um die Vielfalt der geschätzten 35.000 bayerischen Tierarten möglichst effizient zu bearbeiten, konzen-

trieren sich die Münchener Forscher in den ersten Jahren des Projektes auf diejenigen Tiergruppen, die wissenschaftlich und wirtschaftlich besonders bedeutend sind. So konnten sie bei der im Wasser lebenden Makrofauna bisher fast 50 Prozent der knapp 1.000 in Bayern vorkommenden aquatischen Tierarten erfassen. Diese Fauna besitzt eine besondere Bedeutung im Umweltmonitoring sowie in der Fischereiwirtschaft. Auch die bayerischen Fischarten werden dabei in Kürze vollständig erfasst sein.

Mit 92 Prozent aller Wildbienenarten ist zudem eine wichtige Bestäubergruppe von Blüten und landwirtschaftlichen Nutzpflanzen bearbeitet. Auch die Heuschrecken, Ameisen, verschiedene Schlupfwespen und Pflanzenwespen sind bereits zu großen Anteilen in der Gendatenbank vertreten. Die Großschmetterlinge, eine stark vom Artenrückgang bedrohte Insektengruppe, ist ebenfalls fast vollständig ausgewertet. Prof. Dr. Gerhard Haszprunar, Direktor der Zoologischen Staatssammlung in München, wertet das Projekt schon jetzt als großen Erfolg: *Mit dem Barcoding rufen wir ein sehr großes nationales und internationales Interesse hervor. Die Initiative zeigt außerdem, dass Deutschland bei entsprechender Basisfinanzierung in der internationalen Biodiversitätsforschung ganz vorne mitspielen kann.*

# Bioaerosole – Mikroskopisch kleine tierische und pflanzliche Schwebepartikel in der Atmosphäre

Robert Sturm

Neben den bekannten Staub- und Abgasteilchen enthält unsere umgebende atmosphärische Luft noch eine weitere Kategorie von stetig mit dem Menschen in Wechselwirkung stehenden Partikeln – die Bioaerosole. Diese pflanzlichen und tierischen Schwebstoffe zeichnen sich je nach Jahreszeit durch unterschiedliche Konzentrationen in der Atmosphäre aus und werden zum Teil über den Atemtrakt in den Körper aufgenommen. Die mikroskopische Erforschung der Bioaerosole stellt ohne Zweifel ein sehr breites und erkenntnisreiches Feld dar, reicht doch das Spektrum der in einzelnen Proben beobachtbaren Objekte von pflanzlichen und tierischen Fragmenten bis hin zu lebenden Klein- und Kleinstorganismen.

Unter dem Begriff Bioaerosol versteht man ganz allgemein die Gesamtheit aller Luftinhaltsstoffe mit biologischem Ursprung. Aufgrund dieser eher unscharfen Definition handelt es sich dabei um ein in Bezug auf Größe und Zuordnung sehr breites Spektrum an Partikeln, wobei grundsätzlich pflanzliche, tierische und mikrobielle Bioaerosolbestandteile zu unterscheiden sind. Hier muss einerseits die bedeutende Gruppe der lebenden

und unbelebten Mikroorganismen, in welche Viren, Bakterien, Pilze und Hefen, Algen, Protozoen und Zellkulturen unterschiedlichster Form fallen, genannt werden. Zur Entstehung von Bioaerosolen kann es aber andererseits auch durch die Freisetzung von Blütenpollen höherer Pflanzen, Luftsporen von Farnen und Moosen sowie Endosporen von Bakterien kommen. Zuletzt lässt sich der Kategorie der biogenen Luftinhaltsstoffe noch alles Mögliche

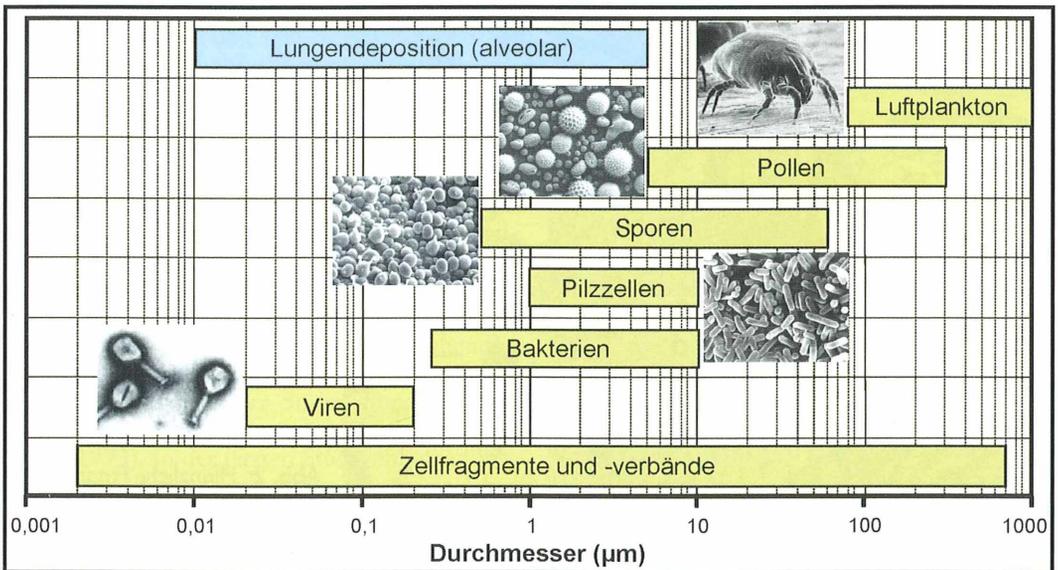


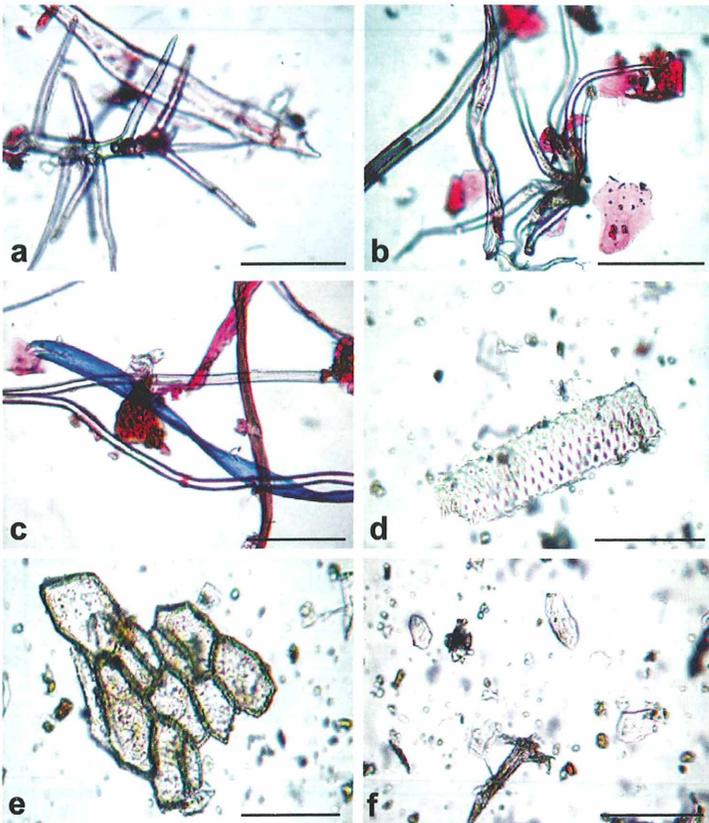
Abb. 1: Größenbereiche einzelner biogener Partikel und typischer Durchmesser von in Lungenbläschen abgelagerten Teilchen.

zuordnen: Fragmente lebender Organismen, Tröpfchen verschiedener Körperflüssigkeiten, Haare, Federn, durch die Atmosphäre vertragene Ausscheidungsprodukte und – nicht zu vergessen – Partikel, die durch die mechanische Verarbeitung biogener Stoffe in die Umgebungsluft freigesetzt werden (z. B. Stäube in der Holzverarbeitenden Industrie; Hoppenheit und Mücke, 1998; Kropiunik, 2005).

Die Definition des Bioaerosols darf freilich noch nicht als endgültig betrachtet werden, da beispielsweise jene Kleinstlebewesen, welche durch Luftströmungen über Distanzen von bis zu mehreren hundert Kilometern transportiert und deshalb unter dem Begriff Luftplankton (Aeroplankton) zusammengefasst werden, noch keineswegs durch diesen Fachbegriff zu erfassen sind. Als prominente Vertreter des Aeroplanktons gelten unter anderem Larven verschiedener wirbelloser Tiere, aber auch jene ob ihrer unangenehmen Wirkung auf den Menschen stetig in den Medien auftretenden Staubmilben.

### Entstehung und Auftreten von Bioaerosolen

Die Entstehung der Bioaerosole beruht auf dem physikalischen Prinzip der Dispersion fester oder flüssiger biogener Materie in der Luft. Zur Charakterisierung des Aerosols dienen neben der bereits erwähnten Größe einzelner Schwebepartikel vor allem die Teilchendichte, allfällige elektrische Eigenschaften einzelner Bestandteile sowie deren Hydrophobizität (Nichtmischbarkeit mit Wasser; Kropiunik, 2005). Die Orte der Bioaerosolentstehung sind nach gegenwärtigem Kenntnisstand als sehr vielfältig zu bewerten. Die wohl bedeutendste Quelle wird dabei durch jene auf Pflanzen, Tieren oder im Boden lebenden Mikroorganismen repräsentiert, die durch Einwirkung einer Luftströmung oder durch menschliche Aktivitäten in die Atmosphäre übertragen werden können. Eine weitere Quelle von Bioaerosolen, die allgemein nur wenig Berücksichtigung findet, sind keimbelastete Wasserreservoirare, aus welchen durch verschiedenste physikalische Prozesse



**Abb. 2:** Pflanzliche Fragmente als wichtige Bestandteile von Bioaerosolen. Neben Härchen (a–c) sind es vor allem epidermale Reste (d–f), welche durch die Atmosphäre transportiert werden. Maßstriche 0,2 mm.

(Sprühen, Vernebeln, usw.) feinste, mit mikroskopisch kleinen Lebewesen beladene Tröpfchen freigesetzt werden. Nicht zuletzt tritt auch der Mensch selbst als signifikanter Produzent von biogenen Luftinhaltsstoffen auf: Werden doch durch Prozesse wie Husten, Niesen oder Reden über die ausgeatmete Luft mitunter Keime aus dem Atemtrakt in die umgebende Atmosphäre abgegeben.

Wie durch obige Ausführungen sicherlich leicht nachzuvollziehen ist, zeichnen sich Bioaerosole durch ihr ubiquitäres Auftreten in der Natur aus, wobei zunächst leblos anmutende Bereiche wie etwa höhere Schichten der Atmosphäre oder jene über dem offenen Ozean stehende Luftsäule in nicht unwesentlicher Menge von Partikeln biologischen Ursprungs durchsetzt sind (Kropiunik, 2005). Besonders geraten die Aerosole jedoch vor allem dann ins Gerede, wenn sie mit dem Menschen in Kontakt treten, indem sie etwa in den menschlichen Behausungen selbst in teils hohen Konzentrationen vorgefunden werden. In diesem Zusammenhang muss auf die in vielen Haushalten bestehende Schimmelproblematik hingewiesen werden, die sich je nach verwendeten Gegenmaßnahmen zu einem mehr oder weniger langwierigen Problem auswachsen kann.

### Beprobung und Mikroskopie von Bioaerosolen

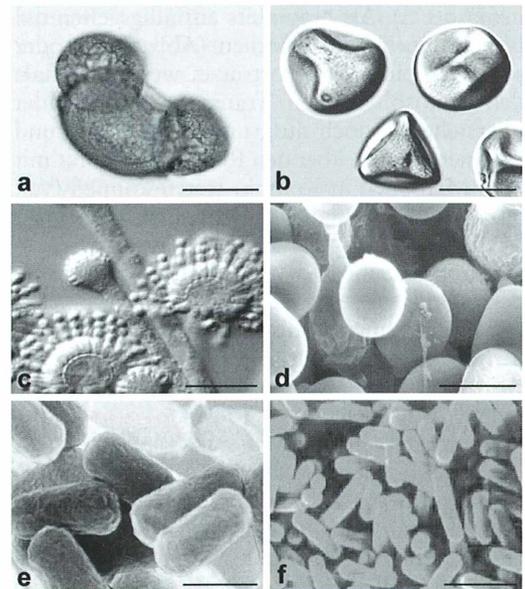
Geräte zur Beprobung von Bioaerosolen beruhen in der Mehrzahl auf dem physikalischen Prinzip der Impaktion, gemäß welchem die Trägheit einzelner biogener Partikel im Luftstrom zur Nutzung gelangt. Beim so genannten Kaskadenimpaktor wird dieser physikalische Mechanismus ganz einfach durch das Nacheinanderschalten mehrerer Stufen unterschiedlicher Impaktionseffektivität verwirklicht. Jene der eingesaugten Luft am nächsten liegende Stufe zeichnet sich durch die Absonderung der größten Aerosolteilchen auf entsprechenden Zielvorrichtungen aus, während mit zunehmender Entfernung der Stufen immer feinere Partikel zur Deposition gelangen (Nevalainen et al., 1993). In der letzten Stufe schließlich befindet sich eine Zielvorrichtung, auf welcher die feinsten, bis dahin noch nicht erfassten Teilchen akkumuliert werden. Zielvorrichtungen umfassen neben Ölplatten vor allem Filtermaterialien oder mit Nährmedien befüllte Petrischalen. Nach dem Teilchenbombardement

werden diese abgewogen oder abgewaschen, um die in Lösung befindlichen Teilchen weiteren Untersuchungen (z.B. mikroskopischen Studien) zuführen zu können.

### Wie geht der Hobby-Mikroskopiker vor?

Die Verwendung des Kaskadenimpaktors bleibt aufgrund der hohen Betriebskosten zu meist größeren Forschungseinrichtungen vorbehalten. Der an Bioaerosolen interessierte Hobbymikroskopiker hat sich in der Regel einfacherer Beprobungstechniken zu bedienen. Im hier vorgestellten Fall wurden einzelne Partikel durch simple Filtration der Luft beziehungsweise durch Beprobung bereits abgelagerter Aerosole (Pollen, Hausstäube) gewonnen.

Wesentlich einfacher als die Beprobung stellt sich die Mikroskopie biogener Aerosolteilchen dar, ist doch für die Beobachtung der meisten Luftschwebepartikel eine lichtmikroskopische Ausrüstung völlig ausreichend. Der präparative Aufwand beschränkt sich dabei auf die richtige Vorbereitung der Proben. Diese werden auf einem handelsüblichen Glasobjektträger (55 × 20 mm) verteilt, wobei als Einbettungsmedien



**Abb. 3:** Licht- und rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen verschiedener biogener Partikel. **a** Pollen der Kiefer, **b** Pollen des Wiesen-Lieschgras, **c** Schimmelpilz, **d** Hefepilz, **e-f** Bakterien. Maßstriche **a** und **b** 50 µm, **c** und **d** 10 µm, **e** und **f** 2 µm.

destilliertes Wasser oder eine physiologische Nährlösung anzuraten sind. Bei Teilchen mit hoher Lichtbrechung empfiehlt sich die Einbettung in Canada-Balsam ( $n = 1,53$ ), welche zudem die Haltbarkeit des Präparates wesentlich erhöht.

Zur genaueren Studie einzelner aus dem Bio-aerosol stammender Objekte kann auf das Rasterelektronenmikroskop nicht verzichtet werden. Jegliche Prozesse des Reinigens, Fixierens und Kritischpunkttrocknens können hierbei außer Acht gelassen werden. Es genügt, einzelne Objekte unter dem Stereomikroskop auf dem vorgesehenen Objektträger zu fixieren und durch Bedampfung mit Kohlenstoff beziehungsweise Bespatterung mit Gold eine elektrisch leitfähige Oberfläche zu erzeugen. Die Mikroskopie selbst kann in der Regel bei Standardeinstellungen (15 kV, 3 nA) vorgenommen werden.

### Darstellung einzelner biogener Teilchen unter dem Mikroskop

Jene für das Lichtmikroskop bestimmte Proben sind in der Hauptsache durch einen hohen Gehalt an pflanzlichen Fragmenten gekennzeichnet (Abb. 2). Als besonders auffällig gelten dabei einzelne Drüsenhärchen (Abb. 2a–c) oder sonstige epidermale Fortsätze, welche oftmals den atmosphärischen Transport unbeschadet überstehen, jedoch aufgrund ihrer Größe und Geometrie nicht über den Respirationstrakt mit dem Menschen in Kontakt treten können (vgl. dazu Abb. 1). Pflanzliche Bruchstücke umfassen neben den Fortsätzen aller Art auch Bruchstücke und Schuppen der Blattepidermis oder des Stammes (Abb. 2d–f). Diese Fragmente mit ihrer vermehrt anisometrischen, plättchenförmigen Gestalt weisen ebenfalls eine deutlich reduzierte Inhalabilität auf (Sturm und Hofmann, 2009).

Als besonders interessante mikroskopische Studienobjekte unter den biogenen Teilchen in der Atmosphäre gelten die Pollen verschiedener Pflanzen, so etwa jene der Kiefer (*Pinus sylvestris*; Abb. 3a) oder des Wiesen-Lieschgrases (*Phleum pratense*; Abb. 3b). Wenn auch bereits mit dem Lichtmikroskop sehr brauchbare Bilder erzeugt werden können, muss hier dennoch die Rasterelektronenmikroskopie als Studienmethode der ersten Wahl angesehen werden. Erst anhand dieser fortgeschrittenen Technik

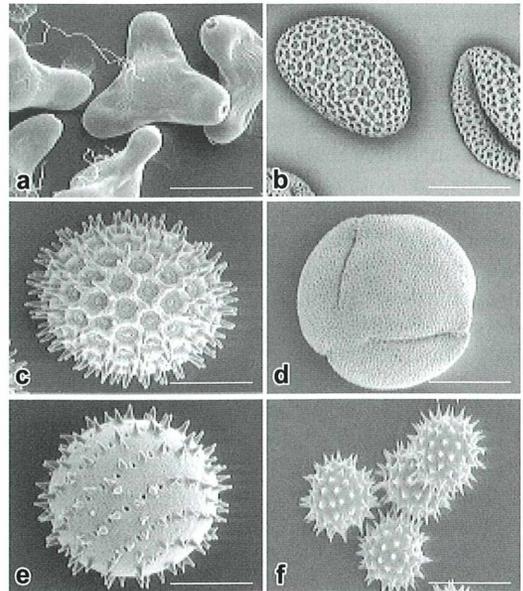
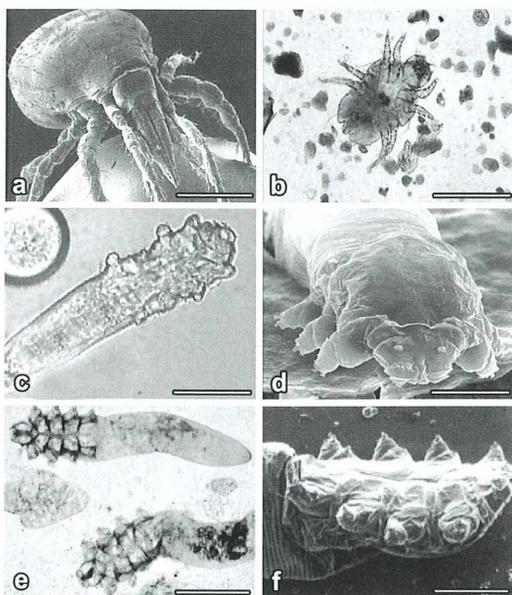


Abb. 4: Verschiedene Pollen mit ihren spezifischen Oberflächenstrukturen. a Nachtkerze, b Lilie, c Aster, d Wolfsmilch, e Malve, f Aster. Maßstriche 30  $\mu\text{m}$ .

gewinnt man Erkenntnisse über die zum Teil hochkomplexe Oberflächenstruktur einzelner Pollenarten (Abb. 4). Während die männlichen Keimzellen der Nachtkerzengewächse (Onagraceae; Abb. 4a) und Wolfsmilchgewächse (Euphorbiaceae; Abb. 4d) durch eine eher dezente, poren- bis gratförmige Oberflächenstrukturierung charakterisiert sind, lässt sich beispielsweise bei den Asten (Asteraceae; Abb. 4c, f) und den Malvengewächsen (Malvaceae; Abb. 4e) eine mit zahlreichen dornenförmigen Fortsätzen übersäte Oberfläche beobachten. Eine wahrhaft besondere Ästhetik ist den Pollenkörnern der Liliengewächse (Liliaceae; Abb. 4b) zu eigen, gleicht deren Oberflächenmuster doch bei einiger Fantasie der Fellzeichnung eines Leoparden oder Jaguars. Die Zweckmäßigkeit einer durch Fortsätze oder ähnliche Strukturen vergrößerten Oberfläche liegt zweifelsohne in der Erhöhung der atmosphärischen Transportstrecke und somit in der effizienteren Verbreitung der Pflanzen.

### Die mehr als lästigen Pilze und Milben

Wie bereits einleitend bemerkt wurde, gelten auch Zellen verschiedener Pilzarten als häufige



**Abb. 5:** Verschiedene Vertreter des Luftplanktons. **a** und **b** Staubmilbe. **c-f** Haarbalgmilbe. Maßstriche 50  $\mu\text{m}$ .

und für den Menschen oftmals äußerst unangenehme Bestandteile von Bioaerosolen. Mit hoher Regelmäßigkeit treten sowohl in der Außen- als auch in der Innenraumlufte signifikante Zellkonzentrationen des Schimmelpilzes (Gattung *Aspergillus*; Abb. 3c) beziehungsweise des Hefepilzes (*Saccharomyces cerevisiae*; Abb. 3d) auf. Wegen ihres Durchmessers von wenigen Mikrometern ist für diese Zellen eine erhöhte Lungengängigkeit zu konstatieren, wodurch ihnen in der Pneumologie mitunter eine übergeordnete Rolle als Krankheitserreger zuteil wird. Ähnliches gilt auch für die Bakterien (Abb. 3e-f), welche zum Teil in die tiefsten Bereiche der menschlichen Lunge vorzudringen vermögen und dort in Form des bronchialen beziehungsweise alveolaren Oberflächenfilms (Surfactant, Mukus) einen nahezu idealen Nährboden vorfinden, der ihnen eine rasche Vermehrung gestattet.

Das für den Bioaerosol-Forscher relevante Luftplankton beinhaltet in erster Linie verschiedene Milbenarten wie etwa die Staubmilbe (Gattung *Dermatophagoides*; Abb. 5a-b) oder die Haarbalgmilbe (Gattung *Demodex*; Abb. 5c-f). Während diese im Durchschnitt etwa 0,1 bis 0,3 Millimeter messenden Tierchen unter dem Lichtmikroskop als eher unauffällig und

geradezu harmlos beschrieben werden können, eröffnet sich im Rasterelektronenmikroskop ihr wahres, durch kräftige Mundgliedmaßen und Beine charakterisiertes Erscheinungsbild. Für die Inhalation spielen diese Organismen freilich keine Rolle, jedoch kann ihr Kontakt mit der menschlichen Haut zur entsprechenden dermalen Reizreaktionen bis hin zu starken Ausschlägen führen.

### Schlussbetrachtung

Bioaerosole beinhalten ein weites Spektrum an Schwebepartikeln biologischen Ursprungs, welche von winzigsten Viren und Zellfragmenten bis hin zu wesentlich größeren pflanzlichen Bestandteilen, Pollen und tierischen Organismen reichen. Diese immense Vielfalt bringt für den ambitionierten Mikroskopiker zahlreiche Möglichkeiten des Objektstudiums mit sich, wobei sich der in Hinblick auf Probenahme und Präparation ergebende Aufwand bei einigem Improvisationsgeschick sehr in Grenzen halten lässt. Nicht zuletzt dieser Umstand sowie die Tatsache, dass die meisten biogenen Partikel bereits mit Hilfe einer kostengünstigen lichtmikroskopischen Ausrüstung untersucht werden können, lassen die Bioaerosole auch zu einem interessanten Thema für den Schulunterricht werden.

### Literaturhinweise

- Hoppenheit, K., Mücke, G.: Bioaerosole in Innenräumen. Tagungsband zum LfU-Fachseminar „Ursachen, Messung und Bewertung von Luftverunreinigungen in Innenräumen“, Wackersdorf 1998.
- Kropiunik, H.: Bioaerosole. Umweltschutz 1, 36–37 (2005).
- Nevalainen, A., Willeke, K., Liebhaber, F., Pastuszka, J.: Bioaerosol sampling. In: Willeke, K., Baron, P. A. (eds.): Aerosol measurement – principles, techniques, and applications, pp. 471–492. Van Nostrand Reinhold, New York 1993.
- Sturm, R., Hofmann, W.: A theoretical approach to the deposition and clearance of fibers with variable size in the human respiratory tract. J. Hazard. Mat. 170, 210–218 (2009).

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

# Nachrichten

## Helgolandfahrt 2011 der Berliner Mikroskopischen Gesellschaft (BMG)

Vom 21. bis zum 29. April 2011 fand die diesjährige Helgolandfahrt der BMG statt. Die elf Teilnehmer reisten, von Dänemark bis Österreich her kommend, mit allen verfügbaren Verkehrsverbindungen an (Bäderschiff mit Ausbooten, Fähre mit Anlegen, Katamaran, Flugzeug; Abb. 1). Ein erstes Gesprächsthema war daraufhin ein Vergleich dieser Verkehrsmittel, speziell bezüglich der Möglichkeiten und Konditionen für die Mitnahme von Ausrüstung und Gepäck (Flugzeug: 4 kg; Katamaran: Ein Koffer, maximal 20 kg frei, darüber hinaus kostenpflichtiges Übergepäck; Bäderschiff: Keine Vorgabe, muss aber das Ausbooten überstehen; Fähre: Keine Begrenzung, auch mehrere Mikroskopkästen oder sehr schwere Koffer waren kein Problem).

Wir kamen in der Gästeunterkunft des Alfred Wegener Instituts (AWI) unter, zu welchem die Biologische Station Helgoland seit einigen Jahren gehört. Aufgrund der kleinen Gruppengröße konnte jedem Teilnehmer ein eigenes Zimmer zur Verfügung gestellt werden. Die Ausstattung des Gästehauses wurde allgemein als einfach und etwas in die Jahre gekommen, aber (bis auf einzelne problematische Matratzen) als gut empfunden. Die Unterkunft war angesichts des regen Osterreiseverkehrs erstaunlich ruhig und bot, speziell vom Gruppen- und Speiseraum aus, einen hervorragenden Blick direkt auf die Nordsee. An einem Morgen konnten wir so direkt beim Frühstück eine Gruppe von Basstölpeln bei der Jagd beobachten (aus Fotos dieses Morgens wurde Abbildung 2 erstellt, welche die einzelnen Flugphasen eines Sturzfluges zeigt).

Für die mikroskopische „Arbeit“ stand uns ein Kursraum des AWI inklusive umfangreicher Ausstattung

(für jeden Platz je ein Olympus Mikroskop verschiedener Baureihen, eine Leica Stereolupe und eine Schott Kaltlichtquelle, dazu eine gut bestückte Fachbibliothek, Planktonnetze, Glasgeräte, Probengefäße und vieles mehr) zur Verfügung, was von vielen Teilnehmern durch mitgebrachte eigene Ausrüstungen ergänzt wurde.

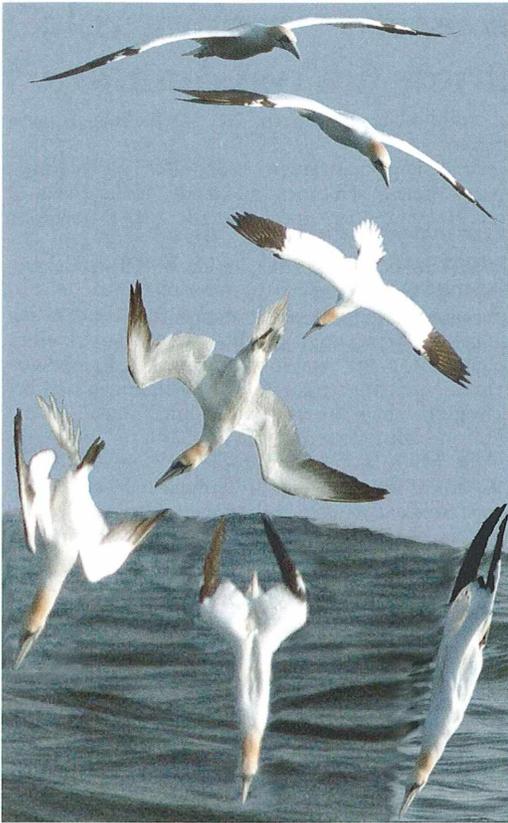
Zusätzlich wurde vom AWI die Teilnahme an mehreren Aktivitäten angeboten, welche einen Einblick in die Tätigkeiten und Fragestellungen des Institutes ermöglichten:

- Mitfahrt bei der seit 1962 jeweils von Montag bis Freitag stattfindenden Bootsfahrt zur Bestimmung von Planktonkonzentration und -zusammensetzung sowie einiger chemischer und physikalischer Parameter (die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden im Rahmen von Pangaea veröffentlicht: <http://www.pangaea.de/>, als Suchbegriff „helgolandroads“ verwenden).
- Besuch der Hälterungsbecken des Ökologielaborbaus des AWI (direkt am Südhafen), inklusiv des Hummerprojektes (in der Presse mehrfach als Hummeraufzuchtstation bezeichnet) und einiger Becken mit anscheinend stets hungrigen Wasserasseln unter Führung von Herrn Jan Beermann (Doktorand des AWI). Die Zukunft der Hummeraufzucht ist übrigens derzeit unklar, da das entsprechende (Forschungs-)Projekt dieses Jahr ausläuft und sich noch niemand bereit erklärt hat, diese Arbeit dauerhaft fortzusetzen.
- Führung durch das Aquarium durch dessen Leiter Dr. Emanuel Hensel, der neben den Becken und ihren Bewohnern auch einige Auswirkungen von Klimawandel und Überfischung auf die Meeresfauna erläuterte.

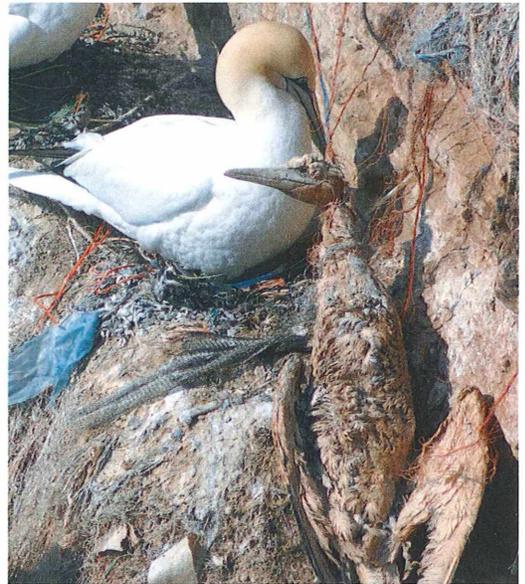
Abb. 1: Gruppenbild mit zwei Damen.



In Eigenregie erkundeten wir das Oberland mit seinen großartigen Steilhängen und dem faszinierenden Einblick in das Brutgeschehen von Basstölpel, Trottellumme und Dreizehenmöwe. Bei genauerem Hinsehen wurde allerdings deutlich, dass unsere Um- und Tierwelt mit vielen menschlichen Hinterlassenschaften unserer modernen Zivilisation erhebliche Probleme hat; so führt die Verwendung von Kunststoffteilen und ähnlichem Abfall als Nistmaterial zu einer vermehrten Nähe von neuem Leben und Tod in der Steilwand (Abb. 3). Als Tagesausflug besuchten wir die Düne, eine dem roten Felsen vorgelagerte, größtenteils künstliche Sandinsel.

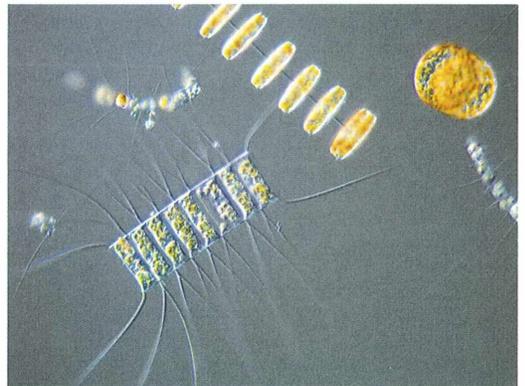


**Abb. 2:** Phasen des Sturzfluges jagender Basstölpel (Montage, verschiedene Individuen).



**Abb. 3:** Leben und Tod in der Helgoländer Steilwand.

**Abb. 4:** Kettenbildende zentrische Diatomeen der Gattungen *Thalassiosira* und *Chaetoceros* (Foto: Wolfgang Bettighofer, Kiel).



stachelbeeren (Rippenquallen) aus den Planktonfängen sowie schließlich Bryozoen, Rot- und Braunalgen aus dem Aufwuchs.

Alles in allem verlebten wir neun schöne, harmonische und sehr interessante Tage auf Helgoland, bei für diese Insel außergewöhnlich schönem Wetter und angenehmen Temperaturen. Dafür sei an dieser Stelle neben den Organisatoren, speziell Klaus Hausmann und Wolfgang Bettighofer, auch Frau Krüss und Frau Böhmer vom AWI für ihre Betreuung herzlich gedankt.

Im Jahr 2012 wird es leider keine Helgolandfahrt der BMG geben können, da das Gästehaus und das Kursgebäude des AWI wegen Modernisierungsarbeiten geschlossen sein werden.

Axel Wedemeyer, Selent

Hauptattraktion waren hier die Kegelrobben und Seehunde, welche die geschützten Bereiche des Strandes gerne als Ruhezone nutzen und sich zur Zeit unseres Besuches, vor der Geburt ihrer Jungen, kaum von den Besuchern stören ließen. Aber auch die Süßwasserteiche der Düne wurden untersucht und beprobt.

Schwerpunkte der eigentlichen mikroskopischen Tätigkeiten waren neben der Diskussion verschiedener Techniken, speziell DIK-Verfahren verschiedener Hersteller sowie der 3D-Mikroskopie und 3D-Mikrofotografie und der Klärung diverser kleinerer technischer Fragen wie der nach der Brennweite der „Beleuchtungslinse P“ des Amplival (ca. 60 mm), die Untersuchung (und Ablichtung) des täglich frisch zur Verfügung gestellten Planktons sowie einiger Lebensformen des Aufwuchses. Anregungen sowohl für lohnende Objekte als auch für Herangehensweisen konnten dabei direkt vom Altmeister Manfred Kage und seiner Frau, welche die Exkursionsgruppe für einen Tag verstärkten, erhalten werden.

Unsere besondere Aufmerksamkeit fanden diverse Ketten zentrischer Diatomeen wie Arten der Gattungen *Chaetoceros*, *Thalassiosira*, *Odontella* (Abb. 4), große „Dosenformen“ (*Coscinodiscus*), Crustaceen, eine Reihe von Echinodermenlarven und einige See-

## 8. Mikroforumtreffen an der TU Darmstadt vom 27.–29. Mai 2011

Seit nunmehr acht Jahren treffen sich Leser und Aktivisten des Internet-Forums [www.mikroskopieforum.de](http://www.mikroskopieforum.de) jedes Frühjahr an der TU Darmstadt, um sich kennenzulernen, sich über das gemeinsame Hobby auszutauschen und gemeinsam interessante und unterhaltsame Tage zu verbringen.

So versammelten sich am 27. Mai gegen 14 Uhr über 50 Teilnehmer in einem Hörsaal des Botanischen Instituts zur Begrüßung durch Dr. Detlef Kramer (für die Organisatoren) sowie der Dekanin des Fachbereichs, Frau Prof. Dr. Felicitas Pfeifer. Der Freitag ist traditionell der Tag der Vorträge. Dr. Tobias Meckel vom Botanischen Institut der TU Darmstadt entführte uns in die Welt der Fluoreszenzmikroskopie, in welcher in den letzten Jahren jenseits des Abbe-Kriteriums nennenswerte Fortschritte in der Auflösungssteigerung lichtmikroskopischer Verfahren realisiert wurden. Im Gegensatz zur Elektronenmikroskopie, deren Auflösungsvermögen nach wie vor deutlich weiter reicht, ist es bei den angesprochenen lichtmikroskopischen Verfahren möglich, lebende Zellen zu beobachten. Dr. Meckel konnte uns einen Film vorführen, der mit Hilfe des Bessel-Beam-Verfahrens (<http://www.imaging-git.com/news/bessel-beam-plane-illumination-microscopy>) aufgenommen worden war. Dieser zeigte, wie HeLa-Zellen (Krebszellen) in Kultur mit Zellmembranlappen wedelnd ihre Umgebung nach Nachbarzellen abtasten. Bessel Beam wird ein flächiger Laserstrahl genannt, der seitlich ins Objekt eingespiegelt wird, so dass er mehr oder weniger nur Objektstrukturen in der Fokusebene beleuchtet und sie zur Fluoreszenz anregt. Dies führt zu einer dramatischen Verminderung von Fehlicht und somit zur Kontraststeigerung. Als angenehmer Nebeneffekt ergibt sich eine deutliche Verbesserung der Vitalität der Präparate. Da das gesamte Beobachtungsfeld gleichzeitig durchstrahlt und die Fluoreszenz anregt wird, ist im Gegensatz zum Laser Scanning Mikroskop das Filmen überhaupt erst möglich. Dr. Holger Adelman referierte über Grundlagen erfolgreicher Rohdaten-Verbesserung digital aufgenommener Bilder am PC. Nach darauffolgenden entspannenden zehn Minuten, in denen uns Regi Kunz Farbsymphonien aus Blumendünger-Kristallen unter dem Polarisationsmikroskop zeigte, berichtete uns Sebastian Hess über seine interessanten Untersuchungen

an amöboiden Einzellern, die in Jochalgen parasitieren.

Nach dem gemeinsamen Abendessen im Tagungshotel konnten wir noch relaxende Tonbildschauen von Horst Binder über Kristalle (3D-Darstellung über Rot/Cyan-Anaglyphentechnik) und von Dr. Karl-Heinz Schäffner über Pollen im Rasterelektronenmikroskop genießen.

Am Samstag ging es bei bestem Wetter zu dem vor einigen Jahren von NABU angelegten kleinen Feuchtbiotop für Amphibien nahe des Reinheimer Teichs. Nach Spaziergang mit Probenahmen und Besichtigung eines Storchenspaars mit Jungvögeln im Nest und Mittagessen in der Fischerhütte zog es uns an die Mikroskope. Wer wollte, zückte das Handmikrotom, denn Dr. Rainer Teubner lud zum Workshop *Schneiden von Pflanzengewebe mit unterschiedlichen Methoden am Handmikrotom* ein. Vor der Praxis gab uns Dr. Detlef Kramer noch eine Einführung in die Pflanzenanatomie des Sprosses der Gefäßpflanzen.

Durch Vermittlung unseres Mikroskopiefreundes und Hobby-Paläontologen Thomas Schaefer konnten wir am Sonntagvormittag eine Führung des Ichthyologen und Paläontologen Dr. Norbert Micklich vom Hessischen Landesmuseum Darmstadt in der Grube Messel genießen. Dr. Micklich gräbt selbst in Messel. Durch seine detailreichen Ausführungen wurden wir in die Welt vor 47 Millionen Jahren zurückversetzt.

Das unterhaltsame und interessante Mikroskopieforum-Treffen endete mit einem gemeinsamen Mittagessen im neu errichteten und von der UNESCO geförderten Besucherzentrum unmittelbar an der Grube Messel.

Was 2004 mit einem kleinen Kreis von 18 Mikroskopikerinnen und Mikroskopikern begann, ist jetzt bei 50 Teilnehmern angelangt. Die Organisatoren sehen nun langsam die räumliche Kapazitätsgrenze nahen. Wir müssen uns also für das nächste Jahr Gedanken darüber machen, wie wir im Falle von zu zahlreichen Interessenten das Problem lösen können. Frühes Anmelden ist also anzuraten. Der Termin wird wie immer Ende des Jahres im Forum unter der Rubrik „Mikro-Termine“ bekanntgegeben.

Wolfgang Bettighofer, Kiel



**Abb. 1:** Im Kurssaal des Botanischen Instituts der TU Darmstadt (links). Die Kieselalge *Epithemia adnata* sowie eine Cyanobakterienkolonie von *Aphanothece spec.* (rechts) (Fotos: Horst-Dieter Dörich, Vellmar, und Wolfgang Bettighofer, Kiel).

# Calcarinidae: Foraminiferen mit sternförmigen Gehäusen

Klaus Hausmann

Löst das Titelbild dieser Ausgabe nicht spontan eine Assoziation zu Christbaumschmuck aus? Neben der sternförmigen Gestalt ist der vorliegende Fall noch besonders suggestiv, weil das Präparat bereits für die nachfolgende rasterelektronenmikroskopische Untersuchung vorbereitet, also vergoldet wurde. Und schon sieht man Weihnachtssterne vor sich. Diese spontane Empfindung ist das Eine, die Realität ist das Andere.

**T**asten wir uns einmal langsam an Letztere, an die Realität heran. Foraminiferen (Lochträger) werden, wie man in den einschlägigen Protozoologiebüchern nachlesen kann, im weitesten Sinne den Wechseltierchen

zugeordnet (Grell, 1973; Hausmann et al., 2003, 2007; Röttger, 2001). Es sind gewissermaßen Amöben, die in einem Gehäuse leben. Sie sollten allerdings auf keinen Fall mit den Testaceen in Zusammenhang gebracht werden,

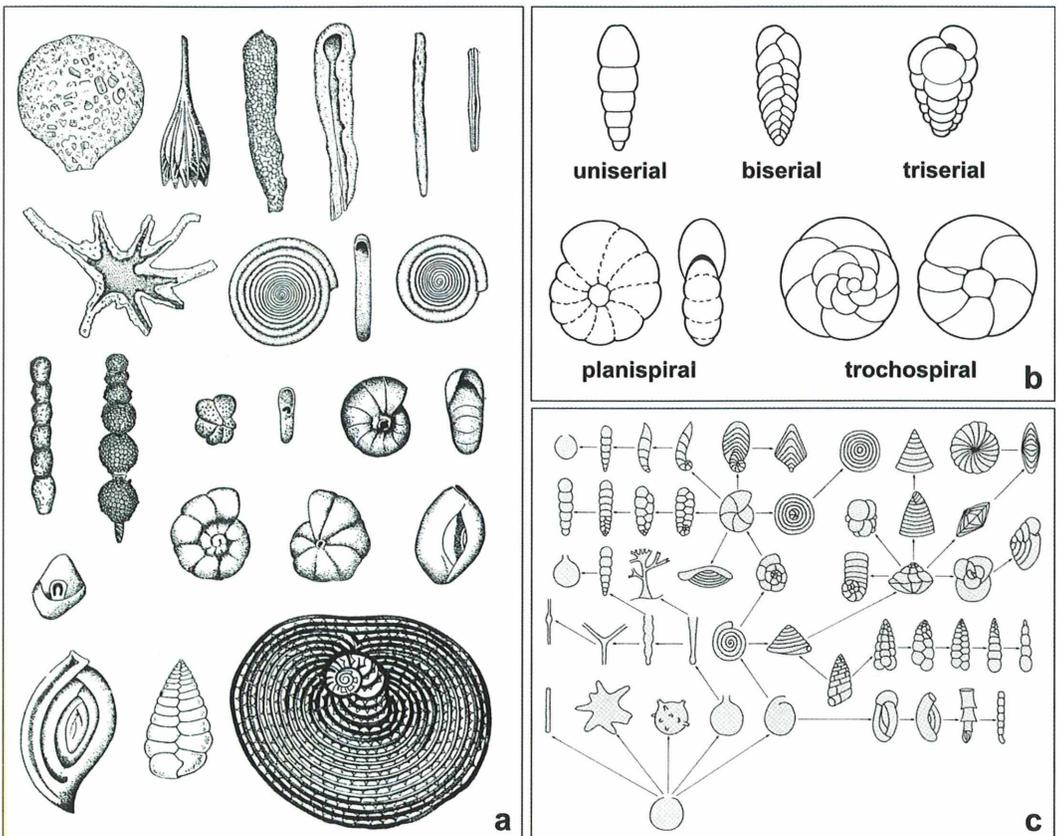


Abb. 1: Gehäusemorphologie von Foraminiferen. a Formenvielfalt. b Organisationstypen. c Mögliche Entwicklungswege der verschiedenen Kammerorganisationen (a aus Cushman, 1948; b und c aus Hausmann et al., 2003).

da bei diesen erheblich einfachere Verhältnisse vorliegen, ganz abgesehen davon, dass die so genannten beschalten Amöben nach heutigem Kenntnisstand unter phylogenetischen Gesichtspunkten im System der Organismen ganz anderswo angesiedelt sind, als die mit Trivialnamen Kämmerlinge genannten Foraminiferen. Charakteristisch und einzigartig für Foraminiferen ist ein retikuläres Pseudopodiennetzwerk (Retikulopodium), in dessen Adern eine bidirektionale Plasmaströmung zu beobachten ist. Galt es vor ein paar wenigen Dekaden noch, dass Foraminiferen ausschließlich im marinen oder brackigen Bereich leben, weiß man heute – primär auf Grund molekularer Analysen –, dass es offenbar auch eine ganze Reihe von Süßwasservertretern gibt.

### Charakteristika der Foraminiferen

Foraminiferen können ein einkammeriges (monothalames) oder ein vielkammeriges (polythalames) Gehäuse aufweisen. Es gibt auch schalenlose (athalame) Formen. Das externe Gehäuse besteht zunächst aus einer organischen, membranösen Matrix, der dann Kalk oder Fremdmaterial wie beispielsweise Sand oder Schwammnadeln eingelagert werden. Diese Schalen sind mit beispielsweise 40 µm recht klein, erreichen mit 13 cm aber auch einen beachtlichen Durchmesser. Bei fossilen Formen ist mit 20 µm bis 17 cm eine noch erstaunlichere Größenbandbreite belegt. Die Mehrzahl der rezenten Arten weist allerdings eine Größe zwischen 200 und 500 µm auf.

Die Schalen sind sehr vielgestaltig (Abb. 1a). Das klassische System der Kämmerlinge gründet sich allein auf die Schalenbeschaffenheit und den Schalenaufbau, was sicherlich kaum einem phylogenetischen System entsprechen dürfte. Die Formenvielfalt kommt zum einen durch die unterschiedliche Anordnung der Kammern zustande (Abb. 1b), zum anderen durch die Variationsbreite der Komplexität in der Ausgestaltung der jeweiligen Schale (Abb. 1c). Unter taxonomischen Gesichtspunkten ist die Gehäuseausgestaltung insofern problematisch, als offenbar eine Reihe von vielkammerigen Arten durch Auflösung der Kammerzwischenwände wieder monothalam geworden ist. Nur etwas mehr als ein Prozent der bekannten Arten hat die planktische Lebensweise verwirklicht. Der bei weitem größte Teil der Foraminiferen

lebt benthisch im und auf dem Sediment (Substrat). Bis auf wenige Ausnahmen ernähren sie sich wohl hauptsächlich von Bakterien, Protisten, mikroskopisch kleinen Metazoen sowie von Detritus. Welche Rolle die Foraminiferen ihrerseits als Beute im Nahrungsnetz spielen, das heißt, von wem sie konsumiert werden, ist zurzeit noch unbekannt.

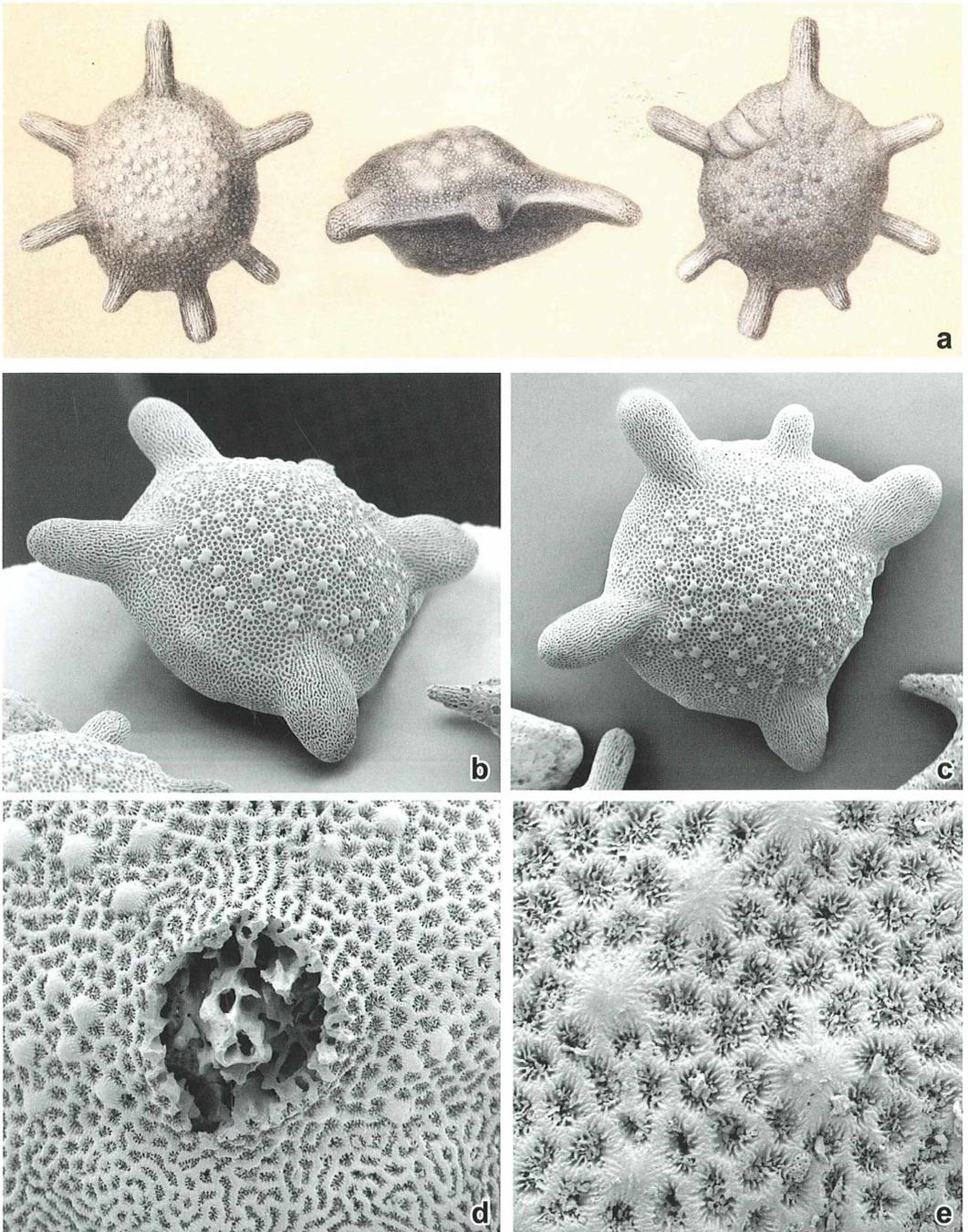
### Nicht nur groß: Großforaminiferen

Es sind rund 4.000 rezente Foraminiferenarten beschrieben, von denen etwa 50 zu den so genannten Großforaminiferen zusammengefasst werden. Hierunter versteht man Kämmerlinge mit großen, vielkammerigen Gehäusen (in der Regel 1 mm bis 3 cm im Durchmesser) verschiedenster verwandtschaftlicher Zugehörigkeit. Ihnen allen ist gemeinsam, dass sie, vielfach in sehr hohen Dichten, im Licht durchfluteten Flachwasser tropischer und subtropischer Meere leben, wobei sie sich beispielsweise auf Algen mit Hilfe ihrer Retikulopodium festheften und somit zur sessilen Lebensweise übergehen. Sie beherbergen in ihrem Plasma endosymbiotisch lebende einzellige Algen (Zooxanthellen: schalenlose Diatomeen, Dinoflagellaten, Rotalgen; Zoochlorellen: Grünalgen), welche die Ausbildung so großer Kalkgehäuse ermöglichen. Sie leben – je nach Art – von den Photosyntheseprodukten ihrer Symbionten oder, indem sie ihre intrazellulären Gäste nach und nach verdauen.

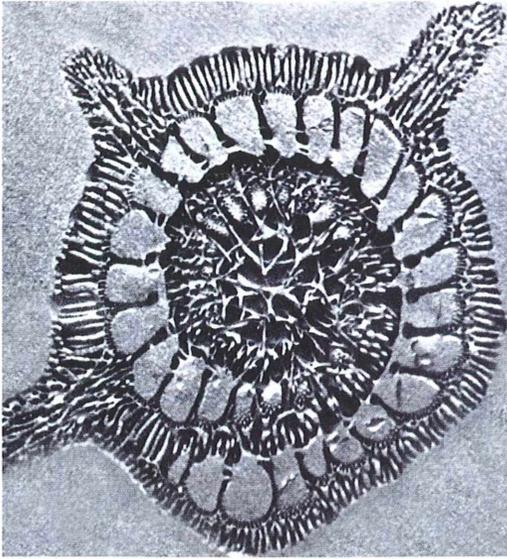
Die Lebenszyklen sind teilweise recht kompliziert; sie schließen hier und da sogar trimorphe Generationswechsel ein. Sie können sich, was für Protisten eher ungewöhnlich ist, über Jahre erstrecken.

### Und was haben die Calcariniden damit zu tun?

Die Calcarinidae gehören wegen der oben umrissenen Eigenschaften zu den Großforaminiferen. Allerdings ist auf Anhang kein typisches, aus irgendwie regelmäßig angeordneten Kammern aufgebautes Gehäuse erkennbar (Abb. 2). *Calcarina gaudichaudii* beispielsweise erscheint mehr oder minder leicht abgeflacht kugelig-rund mit armartigen Auswüchsen. Die Oberfläche ist von zahllosen, zum Lumen hin stachelige Auswüchse zeigenden Poren übersät.

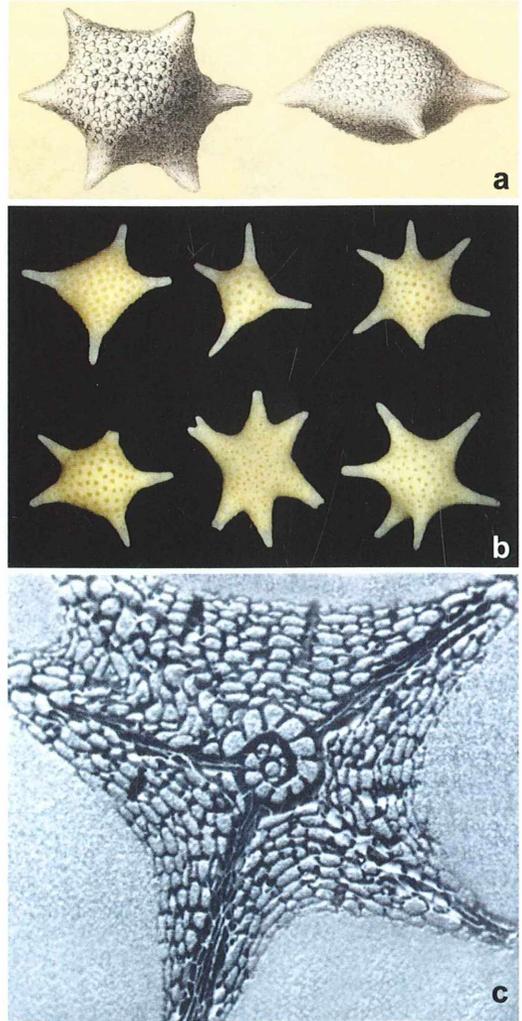


**Abb. 2:** *Calcarina gaudichaudii*. **a** Historische Lithographie (aus Jones, 1994). **b** und **c** Rasterelektronenmikroskopische (REM) Totalansichten. **d** und **e** Oberflächenskulpturierung. Die mehr oder minder runden, mit Stacheln versehenen Strukturen sind Öffnungen eines ausgeprägten, die Kammern überlagernden Kämmerchensystems (REM) (vgl. mit Abb. 3). Eine Gehäusebruchstelle (d) lässt die Gehäuseinnenstruktur erahnen.



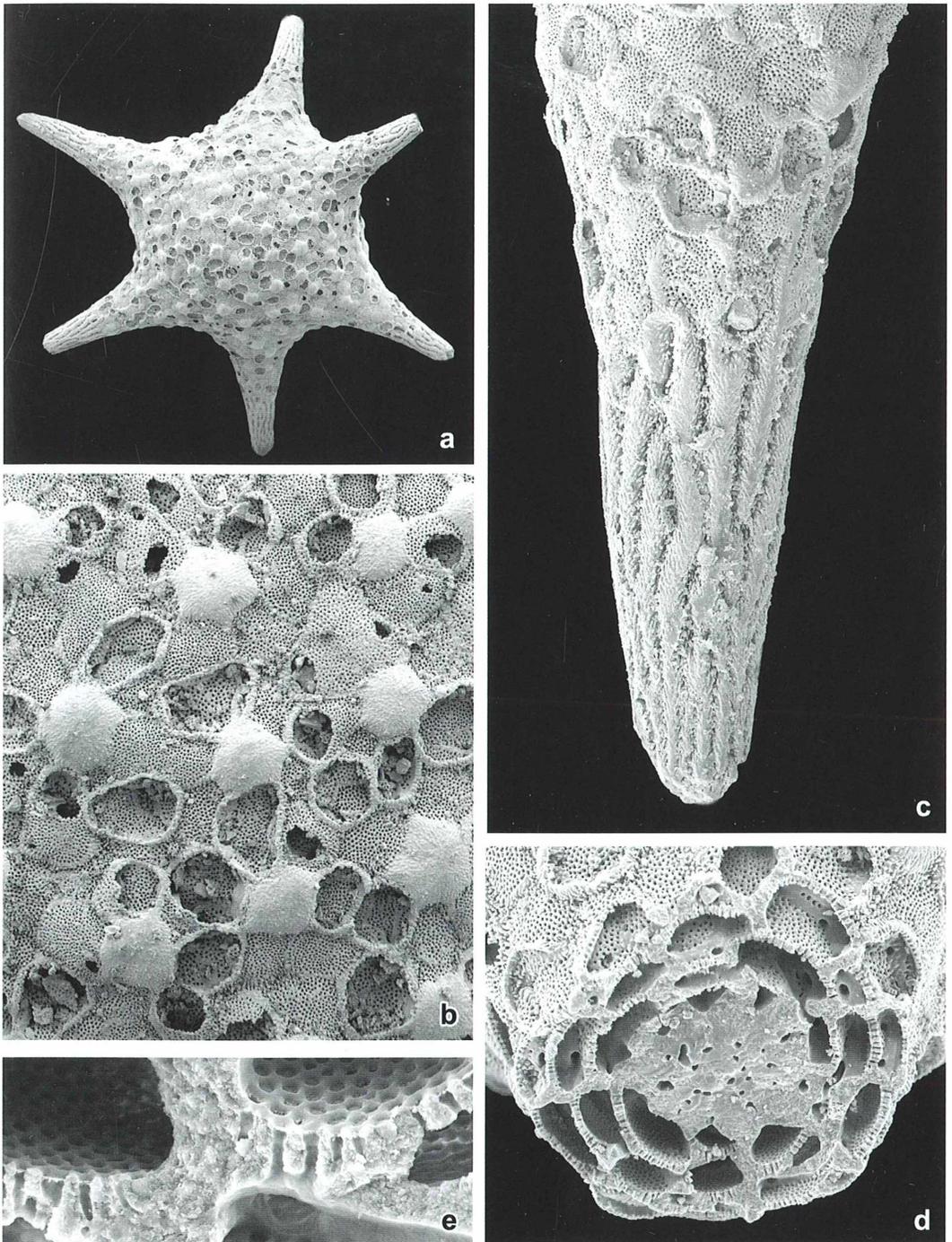
**Abb. 3:** Der ungefähr in der Äquatorebene verlaufende Anschliff eines Aralditausgusses von *Calcarina gaudichaudii* lässt die in einer spiraligen Windung angeordneten Kammern sowie das diese überlagernde Kanalsystem erkennen (REM) (aus Hottinger und Leutenegger, 1980).

Die Foraminiferennatur dieser Organismen wird nach einem Blick ins Innere des Gehäuses offenkundig, was man allerdings erst nach Anwendung einer vom international renommierten Schweizer Foraminiferenforscher Prof. Dr. Lukas Hottinger, Basel, zum Ende der siebziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts entwickelten Präparationstechnik klar erkennen kann (Hottinger, 1979). Hierbei werden die von allem organischen Material befreiten Schalen mit flüssigem (monomeren) Epoxidharz wie zum Beispiel Araldit ausgegossen. Wenn der Kunststoff nach einer gewissen Zeit fest (polymerisiert) ist, werden die Präparate gezielt bis beispielsweise zur Äquatorialebene angeschliffen. Nun wird die Kalkschale mit 1–2%iger Salzsäure aufgelöst. Zurück bleibt ein Abbild des Gehäuseinneren, das dann mit dem Rasterelektronenmikroskop analysiert werden kann. Die Bilder sind zunächst etwas gewöhnungsbedürftig, da sozusagen ein Negativ der eigentlichen Gehäusestruktur vorliegt (Abb. 3 und 4c). Wenn man sich aber etwas eingesehen hat, ist es kein Problem, sich ein Bild über die Komplexität des jeweiligen Gehäuses zu machen. In der Übersicht erkennt man dann, dass das Gehäuse grundsätzlich aus zahlreichen, spira-



**Abb. 4:** *Baculogypsina sphaerulata*. **a** Historische Lithographie (aus Jones, 1994). **b** Formenvielfalt bei schwacher Vergrößerung. **c** Auch hier gibt der ungefähr in der Äquatorebene verlaufende Anschliff eines Aralditausgusses die in einer spiraligen Windung angeordneten Kammern sowie das diese überlagernde Kanalsystem wieder (REM) (aus Hottinger und Leutenegger, 1980).

lig angelegten Kammern besteht (Abb. 3). Diese kann man aber bei dem intakten Gehäuse deshalb nicht erkennen, weil sie von einem umhüllenden, komplexen System feiner, so genannter Lateralkammern überdeckt werden, welche durch die zahlreichen Oberflächenporen Kontakt nach außen haben. Diese Poren sind keine Öffnungen für die Pseudopodien, sondern hierüber erfolgt



**Abb. 5:** *Baculogypsina sphaerulata* (REM). **a** Totalansicht. **b** Die Gehäuseoberfläche ist bedeckt mit lateralen Kämmerchen, deren Wandungen vielfach perforiert sind. **c** Einzeln, mit länglichen Lateralkämmerchen bedeckter Arm. **d** Im Querbruch erkennbare, mehrfache Überlagerung der lateralen Kämmerchen. **e** Verbindung der lateralen Kämmerchen untereinander über zahlreiche Poren.

nach heutigem Wissen ein Stoff- und Gasaustausch des Protoplasmas mit dem umgebenden Milieu.

Eine vergleichbare Situation findet sich auch bei der sternförmigen *Baculogypsina sphaerulata* (Abb. 4a und b). Im Gegensatz zu *C. gaudichaudii* zeigt sich hier allerdings nur eine recht rudimentäre Kammerspirale im Äquatorialschliff. Das System der Lateralkammerchen ist dahingegen vielschichtig und somit recht mächtig ausgebildet (Abb. 4c und 5d). Durch die abstrahlenden Arme ziehen von der zentralen Kammerspirale senkrecht ausgerichtete Kanäle bis in die Spitze.

### Danksagung

Herrn Hendrik Rönfeldt, Firma Keyence, danke ich dafür, dass er es mir ermöglichte, das Titelbild sowie die Abb. 4b mit dem VHX 1000 Digital Microscope anzufertigen. Mit dieser hauptsächlich für den Materialprüfungsbereich konzipierten mikroskopischen Neuentwicklung ist die Firma Keyence, Japan, bestrebt, in einem einzigen Gerät eine anwenderfreundliche, naturgetreue, hochauflösende Bildgebung im Vergrößerungsbereich von 1× bis 5.000× unter den Aspekten Betrachtung, Aufzeichnung, Vor-Ort-Bilderspeicherung, Video-Dokumentationen, komplexe Messungen sowie 2D- und 3D-Rekonstruktionen in Echtzeit zu ermöglichen. Hierbei sind Bildoptimierungen verschiedenster Art verwirklicht wie beispielsweise Tiefenschärfenerhöhung, Pixelverschiebung, Verwackelungskorrektur, vielfältige Beleuchtungsbedingungen sowie Blendlichtentfernung. Das Gerät ist für den oben angesprochenen Materialprüfungsbereich optimal einsetzbar.



### Literaturhinweise

- Cushman, J.: Foraminifera: Their classification and economic use, 4<sup>th</sup> edition. Harvard University Press, Cambridge 1948.
- Grell, K. G.: Protozoology. Springer Verlag, Heidelberg 1973.
- Gupta, B. K. S. (Ed.): Modern Foraminifera. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 1999.
- Hausmann, K.: Plankton der Meere. Einzellige Kostbarkeiten aus ozeanischem Oberflächenwasser. Teil 1: Diatomeen, Dinoflagellaten, Foraminiferen, Ciliaten. Mikrokosmos 95, 298–304 (2006).
- Hausmann, K., Kudryavtsev, A.: Plankton aus dem Oberflächenwasser des Süd-West-Atlantiks. Teil 1: Algen und Foraminiferen. Mikrokosmos 99, 47–51 (2010).
- Hausmann, K., Hülsmann, N., Radek, R.: Protistology, 3<sup>rd</sup> edition. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 2003.
- Hausmann, K., Hülsmann, N., Radek, R.: „Einzellige Eukaryota“, Einzeller. In: Westheide, W., Rieger, R. (Hrsg.): Einzeller und Wirbellose Tiere, 2. Auflage, S. 1–65. Elsevier Verlag, München 2007.
- Hottinger, L.: Araldit als Helfer in der Mikropaläontologie. Ciba-Geigy Aspekte 3, 1–10 (1979).
- Hottinger, L., Leutenegger, S.: The structure of calcarinid Foraminifera. Schweizerische Paläontologische Abhandlungen 101, 115–151 (1980).
- Jones, R. W.: The Challenger Foraminifera. Oxford University Press, Oxford 1994.
- Lee, J. J., Anderson, O. R. (Eds.): Biology of Foraminifera. Academic Press, London 1991.
- Röttger, R. (Hrsg.): Praktikum der Protozoologie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1995.
- Röttger, R.: Wörterbuch der Protozoologie. Protozoological Monographs 2, 1–288 (2001).
- Röttger, R., Krüger, R.: Calcarinidae – Großforaminiferen der Südsee. Film C 1672, IWF, Göttingen 1989.
- Röttger, R., Knight, R., Foissner, W. (Eds.): A course in protozoology, 2<sup>nd</sup> edition. Protozoological Monographs 4, 1–259 (2009).

Verfasser: Prof. Dr. Klaus Hausmann,  
Freie Universität Berlin,  
Institut für Biologie / Zoologie, AG Protozoologie,  
Königin-Luise-Straße 1–3, 14195 Berlin,  
E-Mail: hausmann@zedat.fu-berlin.de

## Pollen, Pilze, Parasiten – Ein Domizil der Mauerbiene

Erich Lühje

Man könnte sie den Spatz unter den heimischen Wildbienen nennen – die Mauerbiene *Osmia rufa*. Denn sie dürfte im menschlichen Siedlungsbereich deren häufigste Vertreterin sein, sicherlich öfter übersehen als genau beobachtet oder gar künstlich angesiedelt.

**H**at man aber einmal sein Augenmerk auf diesen friedlichen, braunschwarz bepelzten Mitbewohner gerichtet, gibt es – zumal an den Nisthilfen – viel aus dem Lebensbereich dieser „wilden“ Schwester unserer Hausangestellten Honigbiene zu sehen. Der Mikroskopiker hat dabei das Privileg, auch über den Tellerrand üblicher Wahrnehmungen hinaus blicken zu können. Mir kam überdies noch ein willkommener Zufall zu Hilfe.

### *Ubi bene, ibi patria – Die Wohngemeinschaft in der Tür*

Die Lebensweise und der Nestbau sind innerhalb der Gattung *Osmia* derart mannigfaltig entwickelt, daß sich hier nicht nur eine Fülle faszinierender Beobachtungsmöglichkeiten ergibt, sondern auch die bisher vorliegenden Kenntnisse allein ein ganzes Buch füllen würden, schreibt Paul Westrich in seinem zum Klassiker gewordenen Buch *Die Wildbienen*

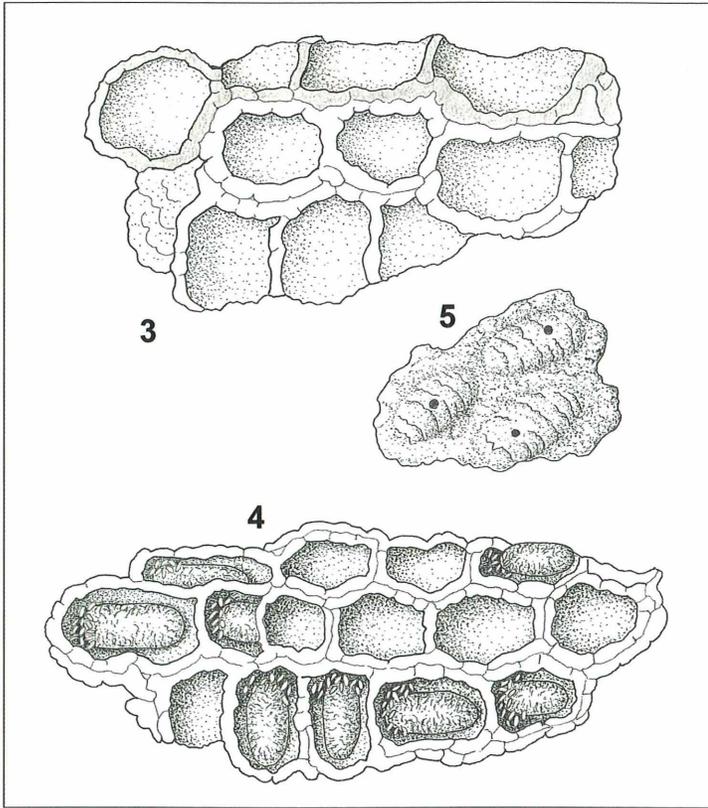
*Baden-Württembergs* (1989). Er fährt fort: *Die Art, die in der Wahl vorgefundener Hohlräume für die Nestanlage am flexibelsten ist, dürfte zweifellos O. rufa sein. (...) Zum Nisten sucht O. rufa fertige Hohlräume verschiedenster Art auf. (...) Auch sehr kuriose Neststätten wurden beschrieben: ein Gehäuse einer Taschenuhr, ein Schlüsselloch, ein Gartenschlauch, eine Streichholzschachtel, eine Patronenhülse, eine Flöte.*

Oft errichtet *Osmia rufa* ihre Linienbauten – zumal in künstlichen Nisthilfen, welche sie auch bei mir seit über 30 Jahren bewohnt – in röhrenförmigen Hohlräumen wie Bohrlöchern (6 mm Durchmesser) und Bambusstückchen (vgl. Löcherbiene *Heriades truncorum*; Lühje, 2010). Andernfalls findet man Haufenbauten, bei denen die gemörtelten Brutzellen unregelmäßig orientiert sind und der Binnenraum allseitig von Lehm umgeben ist (Westrich, 1989).

Eine derartige Wohnanlage der Mauerbiene fand sich, als ein Bekannter von mir beim Umbau seines Carports in Altenholz (bei Kiel) eine waagrecht installierte Tür aus dem Decken-



**Abb. 1:** Haufennest der Mauerbiene *Osmia rufa* im Inneren einer Tür. – **Abb. 2:** Brutzellen mit Pollenvorrat (Fotos: Rainer Stange, Altenholz).



**Abb. 3:** Fragment des Haufennestes (5 × 3 cm) aus zwei unterschiedlichen Lehmsorten. –

**Abb. 4:** Fragment des Haufennestes (8 × 3 cm), zum Teil mit Kokons der Mauerbiene. –

**Abb. 5:** Drei parasitierte Brutzellen der Mauerbiene mit Ausgang (Durchmesser 1 mm) einer Erzwespe.

bereich entfernte und das ausgemusterte Provisorium mit dem Beil zerlegte. Ihr Inneres (Abb. 1 und 2) war wohnungssuchenden Mauerbienen offenbar (über eine Beschädigung?) zugänglich gewesen und schien bei der Freilegung wie mit grobporigem Bauschaum (aus Lehm) ausgefüllt. Das müssen Hunderte Bienen gewesen sein, vermutete er mit Recht; denn ein *Osmia rufa*-Weibchen fertigt maximal 10–30 Zellen in seinem Leben an. Dabei nehmen Bau und Verproviantierung einer Brutzelle bei gutem Wetter meist 1–2 Tage in Anspruch (Müller et al., 1997).

Über längere Zeit wird das Material an der gleichen Stelle gesammelt. Wenn die Erde oberflächlich abgetrocknet ist, graben die Mauerbienen oft einen Zugang zu tieferen Erdschichten, wo das Baumaterial noch genügend Feuchtigkeit aufweist. Zahlreiche Weibchen aus der Umgebung stellen sich in einem solchen Fall hier ein, um von der gemeinsamen Lehmgrube Material zu holen (Westrich, 1989). Dieser Mörtel wird, wie man festgestellt hat, mit

dem Speichel der Biene vermischt. Wenn ich die Zellen zur Inspektion mit der Präpariernadel aufstochn wollte, erwiesen sie sich als erstaunlich solide. Innerhalb der Gesamtsiedlung stießen Lagen von Brutzellen aneinander, die aus verschiedenfarbigem Mörtel gefertigt waren (Abb. 3).

In den Fragmenten der im August 2010 freigelegten Haufennester fand ich die Brutkammern entweder leer oder mit einem Kokon und/oder mehr oder weniger Pollenresten ausgestattet vor (Abb. 4). Aus den leeren Zellen, so die wahrscheinlichste Erklärung, dürfte der Inhalt bei der Demontage herausgefallen sein. Kaum denkbar dagegen, dass eine Biene mehrere Zellen mörtelt, ohne sie anschließend zu verproviantieren und mit einem Ei zu belegen.

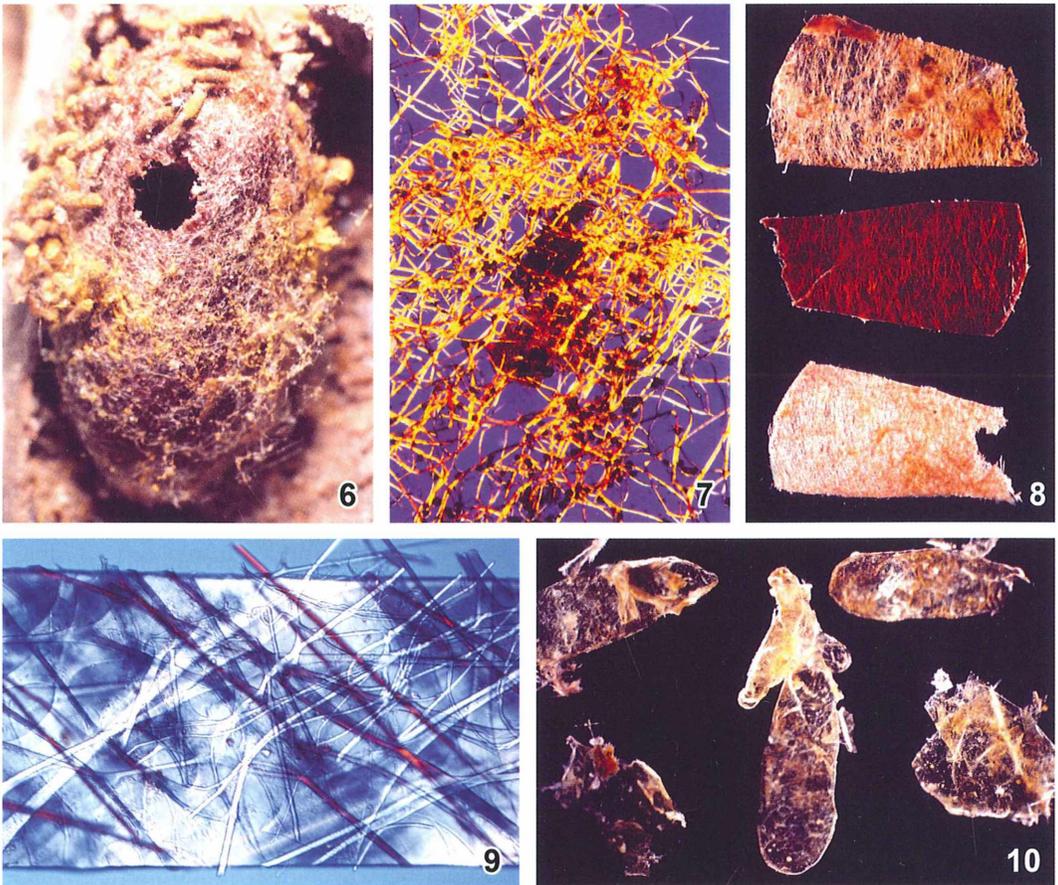
Andere Spuren wiesen auf erfolgreiche Parasitierung hin: Hier hatten Schmarotzer ihre Wirtswohnung durch kleine Löcher (1 mm Durchmesser) in den Wänden verlassen (Abb. 5). Ein derart winziger Ausgang wäre für die Mauerbiene entschieden zu eng gewesen.

## *Osmia im Bade – Eine flüchtige Bekanntschaft*

Es gab also einiges zu erkunden und zwar zunächst einmal, was die intakten Kokons enthalten mochten. Auch wenn das ganze Lehmgebilde einer Totenstadt glich, so war durchaus Leben in den Einzelzimmern zu erwarten – in erster Linie ausgewachsene Stadien der Mauerbiene, die nach der Überwinterung im Frühling 2011 etwa zur Zeit der *Muscari*-Blüte (Traubenhyazinthe) aus ihren Kokons schlüpfen sollten (Westrich, 1989).

Im Januar 2011 fand ich tatsächlich in einem der Kokons ein Mauerbienen-Weibchen, das

mir bei seiner Freilegung indigniert mit weitgespreizten Mandibeln drohte. Ich bewahrte es in einem Filmdöschen (als Ersatzkokon) auf. Nach etlichen Tagen hatte es dort seinen Darm entleert und sich – anders als unter regulären Bedingungen – mit dem weißlichen Inhalt beschmutzt. Man findet diese Ausscheidungen als weiße Tupfer regelmäßig an den Frontflächen der Nisthilfen. Sie stellen keinen Larvenkot dar, denn dieser wurde vor dem Kokonbau abgegeben. Andererseits hat die schlüpfende Imago noch keinerlei Nahrung zu sich genommen. Mithin dürfte es sich um den bei/nach der Metamorphose „auf nüchternen Magen“ gebildeten Darminhalt handeln.



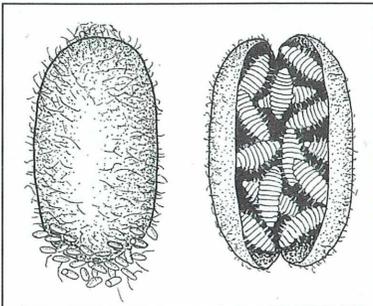
**Abb. 6:** Parasitierter Kokon von *Osmia rufa* mit Ausgang von Erzwespen (Durchmesser ca. 2 mm). Vor der Anfertigung des Kokons hat die Bienenlarve ihren Kot eingesponnen (vgl. Abb. 4 und 11). Vergr. 5,4fach. – **Abb. 7:** Lockeres Gespinst auf der Kokonhülle, mit welchem die Larve den Kot festlegt. Jodfärbung, polarisiertes Licht (vgl. Abb. 11). Vergr. 38fach. – **Abb. 8:** Die drei Schichten des *Osmia*-Kokons; oben: außen, unten: innen. Vergr. 6,6fach. – **Abb. 9:** Streifen der äußeren Kokonschicht; polarisiertes Licht. Vergr. 133fach. – **Abb. 10:** Exuvienfragmente von Erzwespen aus einem parasitierten *Osmia*-Kokon. Vergr. 7,3fach.

Als fürsorglicher Bienenwirt badete ich die Dame in Wasser und ließ sie zwischen einigen Lagen Küchenpapier trocknen. Am nächsten Tag war sie aus ihren papierernen Badelaken herausgekrochen und unauffindbar – somit auch für die vorgedachte Zeichnung verloren. Sehr schade, denn es sollte der einzige Fund einer lebenden Imago bleiben.

### Der Kokon – Ein Blätterteig aus Seide

Bevor die Larve nach drei- bis vierwöchiger Fresszeit mit dem Kokonbau beginnt, räumt sie erst einmal in der Brutzelle auf und legt die zuvor ausgeschiedenen Kotstückchen mit Spinnweben fest. So haften auf der späteren Außenfläche des Kokons zahlreiche Kotwürstchen (Abb. 6 und 11). Dieses silbrige Gespinst wird nach Jodanfärbung rotbraun und lässt sich dann mikroskopisch vorteilhaft vor dunklem oder satt blauem Hintergrund darstellen (Abb. 7).

Ein *Osmia*-Kokon erweist sich beim Zerzupfen mit der Pinzette als durchaus reißfest. Ähnlich einem Blätterteig lässt sich seine Wandung zerlegen (Abb. 8). Die äußere und innere der drei Lagen sind dünner als die mittlere. Es handelt sich um Membranen mit eingewobenen Seidenfäden (Abb. 9). Das Sekret entstammt den jetzt umfunktionierten Speicheldrüsen der Larve. Sie kann offenbar unterschiedlich dicke Fäden ziehen und flächige Partien spachteln. Beide Komponenten bilden dann eine Hüllschicht. Alle drei Lagen sind untereinander verbunden. Mikrofotos gelingen besonders eindrucksvoll bei polarisiertem Licht, denn die Seidenfäden sind doppelbrechend.



**Abb. 11:** Parasitierter *Osmia*-Kokon (15 × 8 mm), rechts: geöffnet. Darin 14 Erzwespenlarven (4 mm lang; schwach behaart). Links: Beachte das lockere Gespinst und den darin festgelegten Larvenkot.

Innerhalb des Kokons verpuppt sich die Larve nach einer Ruhepause von zwei Wochen. Bereits im August liegen die voll entwickelten Bienen in den Kokons, in dem sie auch überwintern (Westrich, 1989). Und eben zu diesem Zeitpunkt (August 2010) – daran sei hier erinnert – war das Haufennest in der Tür entdeckt und freigelegt worden.

### Parasitoide – Weder Schmarotzer noch Räuber

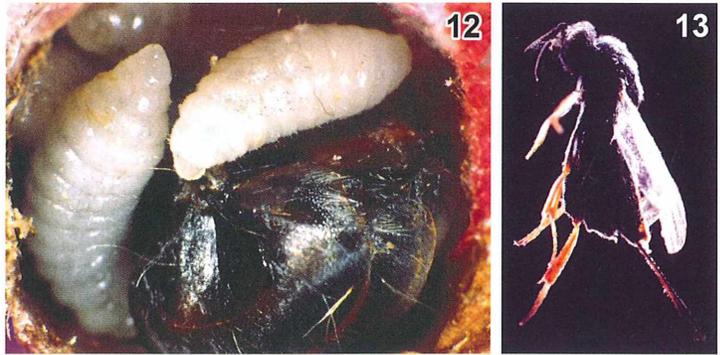
*Im Frühjahr nagen die Imagines mit ihren Mandibeln durch die Kokonwand, die Zellzwischenwände und den Nestverschluß und verlassen ihre Entwicklungsstätte durch den früheren Nesteingang*, schildert Westrich (1989) den Fortgang der *Osmia*-Vita.

Wenn es nicht ganz anders kommt. Etliche Kokons des Haufennestes wiesen nämlich ein oder zwei kleine Löcher auf (Abb. 6), wie ich sie bereits in einigen Zellwänden gefunden hatte (Abb. 5). Im Inneren fanden sich dann weiße Kottupfer und zarte, blass bernsteinfarbene Exuvien (Abb. 10). Hier hatten sich also winzige Insekten auf Kosten der *Osmia*-Larve entwickelt, verpuppt, ihren Darminhalt abgegeben sowie ihre Puppenhülle ver- und hinterlassen. Mikroskopisch war über den Kot nur so viel zu ermitteln, dass seine Partikel (Quetschpräparate) im polarisierten Licht wie Stärkeköerner aufleuchteten und dass er (erwartungsgemäß) keine Pollenreste enthielt.

Andere *Osmia*-Kokons waren randvoll mit weißlichen Maden angefüllt (z. B. 14 Exemplare; Abb. 11). In ihrer Larvenruhe gestört, räkelteten sie sich träge. Ähnliches hatte ich bereits früher in Kokons der Tönnchen-Wegwespe (*Auplopus carbonarius*) gefunden (siehe Abb. 8–12 in Lühje, 2005).

In flagranti ertappte ich solche Larven in einem Kokon, welcher Reste einer entwickelten *Osmia* enthielt (Abb. 12). Deren Inneres war offenbar in Zersetzung übergegangen und quoll beim Präparieren aus dem Tier hervor. Ein weiterer Kokon barg neben diesen Larven eine zusammengeschrumpfte, mumifizierte *Osmia*-Larve. Nach meiner Bestimmung handelt es sich bei Larven und Imagines (Abb. 13) um Erzwespen (Chalcidoidea).

Für ihresgleichen stellt sich beim Betrachter rasch der Begriff Schmarotzer beziehungsweise Parasit oder auch Räuber ein. Alles ist genau



**Abb. 12:** Geöffneter *Osmia*-Kokon mit toter Imago und parasitoiden Larven. Vergr. 10fach. – **Abb. 13:** Tote Erzwespe, Parasitoid im *Osmia*-Haufennest. Vergr. 9fach.

genommen nicht korrekt. Um eigentlichen Parasitismus handelt es sich nicht, weil Schmarotzer ihren Wirt zwar schädigen, aber nicht zwangsläufig töten. Das wiederum ist kennzeichnend für Räuber; diese aber machen mehrfach Beute und transportieren sie ab. Bei unseren Larven handelt es sich demnach um Parasitoide: Sie benötigen nur einen einzigen Wirt zur vollständigen Entwicklung. Dazu nutzt ein Parasitoid bestimmte Entwicklungsstadien der Wirte oder den Nestproviand als Nahrungsgrundlage für die Entwicklung des Nachwuchses (Witt, 1998).

So klein diese Hautflügler gemeinhin sind, so unwahrscheinlich klingt ihr Vorgehen in manchen Fällen. Einer dieser Winzlinge befällt verschlossene und fertig mit Außenputz versehene Brutzellen von Mörstelbienen (Gattung *Megachile*), wobei das Weibchen mit seinem Legebohrer (2,8 mm lang, 0,028 mm dick) die steinharte Zellwand durchbohrt (Westrich, 1989). Auch der von mir angetroffene *Osmia*-Parasitoid musste für die Eiablage die gemörtelten Wände überwunden haben.

Noch ein ungebetener Besucher hatte seine Spuren im Haufennest hinterlassen. Dieser „üble Fremde, der überall herumschnüffelt“ (*Cacoxenus indagator*), gehört zur Familie der allseits bekannten Taufliege *Drosophila melanogaster*, die im Sommer unser Weinglas umkreist oder an Küchenabfällen herumschwirrt. Erwachsene Tiere sind regelmäßig an den Nisthilfen anzutreffen und legen ihre Eier bei *Osmia rufa* ab. In befallenen Brutzellen wursteten *Cacoxenus*-Larven buchstäblich den Pollen-Nektar-Vorrat, indem sie ihn nach Verzehr und Verdauung als spaghettiartigen Kot wieder ausscheiden. Er besteht, wie sich unter dem Mikroskop schnell bestätigte, aus Pollen,

so dass dieser Parasitoid seinen Hauptwirt *Osmia rufa* durch Nahrungsraub schädigt, bisweilen aber auch die junge Wirtslarve verzehrt (Westrich, 1989).

Die Pollenkörner passieren, wie das Mikroskop zeigte, die *Cacoxenus*-Larve unzerstört, wie das auch bei der Wirtslarve der Fall ist (vgl. auch die Löcherbienen *Heriades truncorum*; Abb. 6, 14, 16 in Lüthje, 2010).

### Der steinerne Gast – Ein Pilzopfer

Einen mich überraschenden Fund stellten zwei tote *Osmia*-Larven dar, welche wie aus Bronze gegossen aussahen (Abb. 14). Ihre erzfarbene Hülle bestand aus der hauchdünnen Larven-Epidermis. Hob ich diese ab, schaute ich in dicht an dicht stehende Behälter – etwa wie in einen von mir leergemaschten Pralinenkasten. Die dunkelbraunen Behälter waren mit einem gelblichen Mehl gefüllt – runde Ballen aus Sporen, die ihrerseits madenartig länglich-krumm geformt waren (Abb. 15–17). Unter dieser dunklen Schicht lag ein hellbraunes Inneres. Daraus konnte ich einen Abschnitt des Larvendarmes freipräparieren. Es war ein weißlicher Schlauch mit schwärzlichem Inhalt, krustig-fest wie die gesamte infizierte Larve. Sein Durchmesser entsprach den Kotstückchen, die ich gefunden hatte (Abb. 18).

In Quetschpräparaten des Darminhalts waren Pollenkörner und Pilzsporen zu finden. Die hellbraune Füllung des Larvenkörpers schließlich zerbröselte unter dem Deckglas in kleine membranöse Schollen. Näheres war nicht zu erkunden. Gleichviel – all dieses deutete auf Kalkbrut. Ihr Erreger ist der Schimmelpilz *Ascospaera aggregata*. Westrich (1989) be-

schreibt, dass die Sporen des Schimmelpilzes im Mitteldarm keimen und im Laufe weniger Tage die Epidermis, die Tracheen und die Muskeln durchdringen. Die Larve färbt sich dabei gelblich und vertrocknet.

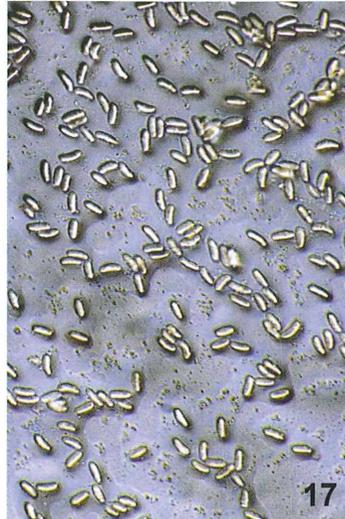
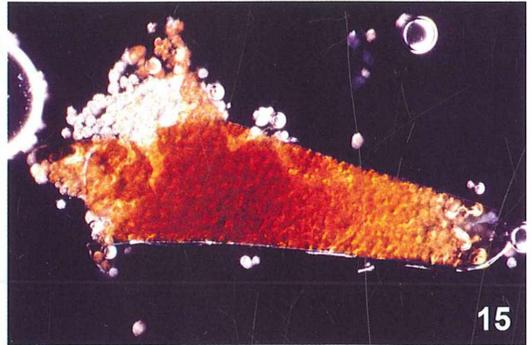
Im Abgleich mit der Kalkbrut der Honigbiene (*Ascospaeriose*, Hartbrut) lässt sich das hier geschilderte Bild präzisieren. Deren Erreger ist *Ascospaera apis*. Männliche und weibliche Sporen bilden in befallenen Bienenmaden jeweils ein Myzel. Treffen männliche und weibliche Pilzfäden auf der Bienenoberfläche zusammen, werden kugelige Sporenbehälter (Fruchtkörper = Sporangien) gebildet – wie jene dunkelbraunen Behälter unter der *Osmia*-Maden-Epidermis. Sie enthalten unter der *Osmia*-Maden-Epidermis. Sie enthalten kugelige Sporenbehälter (Sporenbällchen = Ascii), welche ich bei *Osmia* als das

gelbliche Pulver wahrgenommen hatte. Wenn die Hülle des reifen Sporenbällchens platzt, werden die Sporen frei – das konnte ich bei meinem Material an Quetschpräparaten herbeiführen und fotografieren. Für eine Spore von *A. apis* werden 3 µm, für einen Sporenbehälter 1/10 mm angegeben (nach Schade, Internet).

### Milben – Tischgenossen und Resteverwerter

Fanden sich in den Brutzellen noch Reste des Pollenvorrats, so waren dort zumeist auch Milben anzutreffen. Sowohl lebende als auch abgestorbene.

Quetschpräparate zeigten, dass ihr Verdauungstrakt fein fragmentierten Pollen enthielt. Ganz



**Abb. 14:** Zwei Kalkbrut-Larven von *Osmia rufa*; links: Anschnitt. Vergr. 7fach. – **Abb. 15:** Einzelnes Sporangium des Kalkbrut-Erregers mit durchscheinenden bzw. ausgetretenen Sporenhäufen. Vergr. 8,2fach. – **Abb. 16:** Sporenhäufen (Asci) des Kalkbrut-Erregers *Ascospaera aggregata*. Vergr. 680fach. – **Abb. 17:** Sporen des Kalkbrut-Erregers. Vergr. 560fach. – **Abb. 18:** Freigelegter Darmabschnitt einer verkalkten *Osmia*-Larve. Vergr. 28fach.

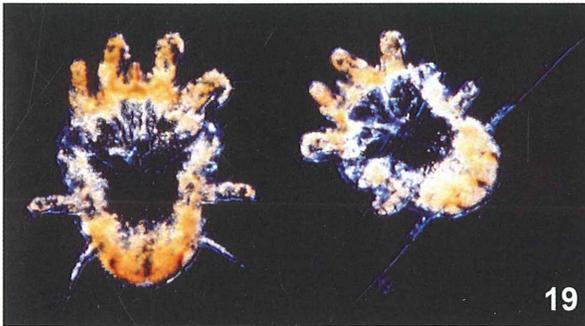
vereinzelt fand sich darunter – gleichsam als *Corpus delicti* für den Mundraub – ein unzerlegtes Blütenstaubkorn.

Als harmlose Kommensalen können sich solche Milben von Pilzen, Bakterien, Futterresten und geringen Mengen von Pollen und Nektar ernähren (Müller et al., 1997). Nur, wenn ein Kokon verletzt ist, befallen die Milben auch die Ruhelarve oder Puppe (Westrich, 1989). Um zu neuen Bienennestern zu gelangen, sitzen junge Milben bei ihren Wirten auf und verlassen mit ihnen das alte Nest. Ich besitze ein Foto zweier kopulierender Osmien, bei denen beide Partner dicht mit Milben besetzt sind. Auch am Eingang eines vorjährigen Nestes können Hunderte von Milben auf schlüpfende Bienen warten (Foto bei Westrich, 1989).

Mikrografisch war den Tieren nicht so leicht beizukommen. Mit den Pollenresten und dem darin ebenfalls enthaltenen Pilzmyzel bil-

deten sie ein wattiges Konglomerat, das in Wassereinbettung zahlreiche Luftbläschen entstehen ließ. Ich träufelte daher zunächst Brennspritus und danach Glycerin auf die Materialprobe. Dadurch wurde eine weitgehend bläschenfreie Abdeckung möglich (Abb. 19). Farblich ließen sich die restlichen Pollenkörner von den ebenfalls gelblichen Milben durch Astrablau-Safranin-Färbung gut trennen, denn die Pollen wurden rot (Abb. 20). Auch die Nahrungsanalyse wurde dadurch erleichtert. Soweit die Farblösung in Quetschpräparaten an den Darminhalt gelangte, nahm er dieselbe Rottönung an (zerkleinerte Pollenhüllen). In polarisiertem Licht leuchteten die Cheliceren (Mundwerkzeuge) der Milben selektiv auf.

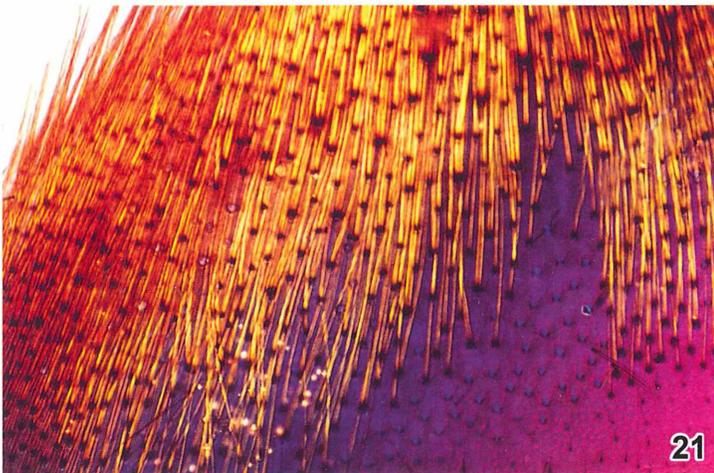
Es erschien mir durchaus verständlich, dass die Zerkleinerung der Pollen bei den winzigen Milben unumgänglich sein soll (während sie die größeren *Osmia*- und *Cacoxenus*-Larven un-



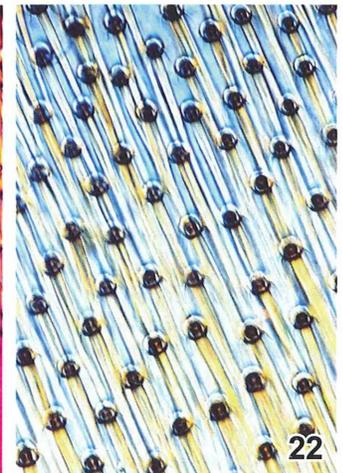
19



20



21



22

**Abb. 19:** Tote Milben (Kommensalen) aus dem Pollenvorrat im *Osmia*-Nest. Präparation mit Klorix. Vergr. 9,2fach. – **Abb. 20:** Pollenreste mit Milben; Pollen durch Astrablau-Safranin rotgefärbt. Vergr. 3,6fach. –

**Abb. 21:** Sternit-Fragment einer toten *Osmia rufa* mit Teilen der Bauchbürste. Polarisiertes Licht; Vergr. 31,7fach. – **Abb. 22:** Haare der *Osmia*-Bauchbürste. Vergr. 212fach.

zerteilt passieren). Indes belehrte mich ein Zufall eines Besseren. Hans Brogmus hatte in den Staubbeuteln eines Alpenveilchens (aus dem Blumenhandel) Milben gefunden und mir das Material zugesandt. Bei diesen Milben passieren die Pollen den Verdauungstrakt unzerkleinert. Es handelte sich zwar ersichtlich um eine andere, aber annähernd gleich große Milbenart.

### **Pollentransporter – Ein Bauch mit Bürstenhaarschnitt**

Vereinzelt fand ich im Haufennest Überreste verendeter *Osmia-rufa*-Imagines. Dadurch konnte ich unter anderem die Behaarung des Hinterleibes näher betrachten. Bei *Osmia rufa* und ihrer näheren Verwandtschaft (Megachilinae) dient eine bürstenförmige Bauchbehaarung (Ventralscopa) als Transporteinrichtung für den gesammelten Pollen. Diese Bienengruppe muss sich deshalb die etwas kuriose Bezeichnung Bauchsammmlerinnen gefallen lassen.

*Osmia rufa* sammelt – im Gegensatz zur oligolektischen Löcherbiene *Heriades truncorum* – den Pollenvorrat nicht auf bestimmten Pflanzen, sondern nimmt polylektisch viele Angebote wahr. Achtzehn Pflanzenfamilien sind bei diesem ausgesprochenen Generalisten als Pollenquelle belegt (Westrich, 1989). Wie mochten nun die Haare ihrer Transporteinrichtung aussehen?

Ich bettete einen Bauchring (Sternit) in Brennspiritus/Glyzerin ein und betrachtete das Präparat bei polarisiertem Licht (Abb. 21). Wichtigste Feststellung: Die Haare der Bauchbürste sind unverzweigt und glatt (Abb. 22). Das ist nicht selbstverständlich. Bei der bereits mehrfach erwähnten Verwandten *Heriades truncorum* besteht die Bauchbürste aus gefiederten Haaren, wie schon mit dem 10fach-Objektiv gut zu erkennen ist. Ob sich in der Feinstruktur des Transportapparates der Unterschied Pollengeneralist / Pollenspezialist widerspiegelt?

Am (*Osmia*-)Bauchring entsprangen die einzelnen Haare einer punktförmigen Ansatzstelle – ein schönes Tupfenmuster für Mikrofotos (Abb. 22). Den Rand des Sternits überragten die Haare wie Teppichfransen. Schließlich fiel mir am Sternit auch eine zellulär strukturierte feine Membran auf. Dabei dürfte es sich um die Intersegmentalhaut handeln, welche die einzelnen Panzerteile gelenkig verbindet.

### **Nur eine Überlebende in einem Domizil voller Feinde**

Wie bereits vermerkt, fand ich in den Fragmenten des Haufennestes nur eine einzige intakte Mauerbienen-Imago. Alle anderen unversehrten Kokons, in denen ich nachschaute, erwiesen sich als parasitiert – wahrlich kein anheimelndes Domizil für Fräulein *Osmia*! Wenn dieser Befund auch noch keine statistisch abgesicherte Aussage zulässt, deutet er dennoch darauf hin, dass die Mauerbiene unter hohem Parasitierungsdruck stehen kann. An meinen Nisthilfen, welche ich naturgemäß nicht zerlege, habe ich in dieser Hinsicht nur das Wirken der Tauffliege *Cacoxenus indagator* vor Augen. Insofern bot mir das Haufennest aus der ausgedienten Tür einen höchst wertvollen Anschauungsunterricht.

Gern hätte ich deshalb von dem umfangreichen Material noch weitere Proben untersucht, aber das war im Zuge der Baumaßnahme verloren gegangen. Beim nächsten Umbau will mein Bekannter aber wiederum sein Augenmerk auf mögliche Untermieter richten.

### **Dank**

Herr OstR i.R. Rainer Stange aus 24161 Altenholz bei Kiel stellte mir das Material und einige Aufnahmen von der Bergung des Haufennestes zur Verfügung.

Hans Brogmus (Bielefeld) fertigte in bewährter freundschaftlicher Zusammenarbeit die Zeichnungen für diesen Bericht an.

### **Literaturhinweise**

- Lühje, E.: Bienenbrot und Larvenkot – Vom Biomüll der Löcherbiene. *Mikrokosmos* 99, 23–29 (2010).  
 Lühje, E.: Die Tönchenwegwespe – Ein Makro-Mikro-Motiv. *Mikrokosmos* 94, 161–164 (2005).  
 Müller, A., Krebs, A., Amiet, F.: Bienen. Mitteleuropäische Gattungen, Lebensweise, Beobachtung. Naturbuch-Verlag, München 1997.  
 Schade: <http://www.bienenschade.de/Honigbienen/Krankheiten/Kalkbrut.htm>  
 Westrich, P.: Die Wildbienen Baden-Württembergs. Allgemeiner Teil. Ulmer-Verlag, Stuttgart 1989.  
 Witt, R.: Wespen beobachten, bestimmen. Naturbuch-Verlag, Augsburg 1998.

Verfasser: Dr. Erich Lühje, Kruppallee 13, 24146 Kiel

# Drei neue Rädertierarten aus Nordwestdeutschland – Von der Probennahme bis zur Artbeschreibung

Eike F. Wilts

Jedes Jahr werden nach Expertenmeinung weltweit mehrere tausend neue Tierarten entdeckt. Bisher unbekannte Spezies sind allerdings nicht nur in der Tiefsee, in den Gewässern und Wäldern der Tropen oder anderen entlegenen, wenig erforschten und irgendwie exotischen Regionen der Welt zu finden, sondern auch in vermeintlich gut untersuchten heimischen Gefilden. Zugegebenermaßen ist die Wahrscheinlichkeit, in Deutschland oder Europa noch auf eine bisher unbekannte Wirbeltierart zu stoßen, als eher gering einzuschätzen. Bei den Wirbellosen hingegen ist die Situation eine andere.

Zuweilen stößt der wachsame Mikroskopiker neue Arten sogar sprichwörtlich vor der eigenen Haustür auf, wie das Beispiel von drei neuen, in Niedersachsen entdeckten Rädertieren demonstrieren soll. Namentlich handelt es sich dabei um die drei monogononten Rädertiere *Proales tillyensis* Wilts, Ahlrichs 2010, *Bryceella perpusilla* Wilts, Ahlrichs, Martínez Arbizu 2010 und *Cephalodella ungulata* Fischer, Ahlrichs 2006.

## Fundorte und Probenahmen

Das untersuchte Probenmaterial stammt aus unterschiedlichen Feuchthabitaten Ostfrieslands und des Ammerlandes (Abb. 1). *Proales tillyensis* habe ich erstmalig im August 2006 im Tillysee, einem Binnensee in der Nähe der Stadt Oldenburg, im Ammerland gefunden (53° 04' 35.0" N, 7° 12' 00.07" E). Der über elf Hektar große Tillysee liegt am Rande eines größeren Waldgebietes und misst an seiner breitesten Stelle etwa 500 Meter. Ein großer Teil des Südostrufers ist mit Laichkraut bewachsen (Abb. 1a), welches in diesem Bereich auch großflächig an der Oberfläche treibt und stark mit Detritus behaftet ist. Etwas von diesem Laichkraut wurde in einem Eimer mit etwa fünf Litern Wasser der Probenahmestelle gründlich ausgespült. Das Wasser wurde anschließend durch ein von zwei ineinandergesteckten PVU-Rohren gehaltenes Planktonnetz (Abb. 2a) der Maschenweite 64 µm filtriert, wobei das Filtrationsgerät fortwährend geschwenkt wurde, um ein Verstopfen der Filtergaze zu verhindern. Das verbleibende

Detrituskonzentrat wurde zum Transport in verschließbare Plastikbehälter überführt und am selben Tag im Labor analysiert.

*Bryceella perpusilla* fand ich erstmals im Januar 2008 in einem Moospolster, welches einen Findling in einem Mischwald im Landkreis Leer, Ostfriesland (53° 15' 48.14" N, 7° 31' 54.46" E) bewächst (Abb. 1b). Im Februar 2009 fand ich diese extrem kleine Rädertierart auch in Moosen eines trockenen Grabens in kurzer Distanz zum Findling. An beiden Stellen habe ich etwas Moos in Frischhaltebeutel überführt, ins Labor transportiert und dort für einige Wochen im Kühlschrank bei 8 °C gelagert (Abb. 2b). In regelmäßigen Abständen wurde das Moos in einer Petrischale abgespült und die so ausgewaschenen Organismen untersucht. Diese Methode ermöglichte es, *B. perpusilla*, die in der Regel erst nach einigen Tagen in den Proben auftauchte, in ausreichender Individuenzahl zu erhalten.

*Cephalodella ungulata* wurde in einer Planktonprobe aus einem Entwässerungsgraben des Logabirumer Hammrichs im Landkreis Leer (53° 14' 25.82" N, 7° 31' 15.88" E) gefunden (Abb. 1c). Der Hammrich ist eine typisch ostfriesische Landschaft, die sich durch freie Wiesen und Weideflächen auszeichnet, welche in erster Linie landwirtschaftlich genutzt werden. Aufgrund dieser Nutzung ist das Wasser in den Gräben entsprechend stark eutrophiert und die meiste Zeit des Jahres mit zahlreichen Wasserpflanzen wie Froschbiss, Hornblatt, Wasserpest und *Lemna* durchkrautet, was der Diversität der Rädertierfauna vor Ort sehr entgegenkommt. Der probierte Graben ist etwa eineinhalb Meter



**Abb. 1:** Beprobte Standorte. **a** Südostufer des Tillysees im Landkreis Oldenburg (Laichkraut ist erkennbar im Schatten der Bäume). **b** Moos überwachsender Findling im Wald von Logabirum im Landkreis Leer. **c** Blick auf Probenahmegraben des Logaer Hammricks im Landkreis Leer.

tief, führt jedoch in der Regel nur etwa 50 cm Wasser, zuweilen ist er im Sommer auch vollständig ausgetrocknet. Die Probenahme erfolgte im November 2005 mithilfe eines Planktonkeschers. Dabei handelt es sich um den so genannten Mermaidbra, ein von Gwen Higgins (Ehefrau des berühmten Meiofaunaforscher Robert P. Higgins) für ihren Mann angefertigtes, trichterförmig vernähtes Planktonnetz (62 µm Maschenweite) mit Griff, das in einen handels-

üblichen Gartengerätestock eingeschraubt wurde (Fig. 2c). Mithilfe dieses Werkzeuges ist es möglich, auch in dicht verkrauteten Gewässern einfach, schnell und effizient Planktonproben zu gewinnen, sofern diese nicht quantitativ analysiert werden müssen. Das erbeutete Planktonmaterial wurde an Ort und Stelle in verschließbare Plastikbehälter überführt und im Labor untersucht, wo Herr Claus Fischer die neue *Cephalodella*-Art entdeckte.

### Hintergrundinformationen zu den entdeckten Arten

Bei *Proales tillyensis* (Abb. 3a, b, 4a, b und 5a, b) handelt es sich um einen Vertreter aus der Familie der Proalidae. Unter diesem taxonomischen Sammelbecken wurden vier sehr unterschiedliche Gattungen mit einer Vielzahl höchst diverser Arten vereint, die auf den ersten Blick nicht in andere, bereits bestehende Gattungen und Familien einzuordnen waren. Die Gattung *Proales*, welche aus taxonomischer und phylogenetischer Sicht große Probleme bereitet, umfasst etwa 44 morphologisch und genetisch sehr unterschiedliche, limnische und marine Spezies. Auf die drei übrigen Gattungen *Bryceella*, *Wulfertia* und *Proalinopsis* verteilen sich insgesamt lediglich 13 Arten. Die vier proaliden Gattungen teilen jedoch keine neuen, evolutiven Merkmale (Synapomorphien), die sie als geschlossene Abstammungsgemeinschaft (Monophylum) ausweisen würden. Jüngste Studien zeigen vielmehr deutlich, dass es sich bei den Proalidae um eine polyphyletische Ansammlung von Rädertierarten handelt (Wilts et al., 2009a; Wilts et al., 2010).

### *Proales tillyensis*

*Proales tillyensis* bewohnt in relativ hoher Individuenzahl das in Ufernähe an der Wasseroberfläche treibende Laichkraut des Tillysees und tritt dort in Gesellschaft der Gattung *Lecane*, zuweilen auch *Stephanoceros* und einiger bdelloider Rädertiere auf. Wovon sich die Tiere ernähren, konnte ich bisher nicht beobachten. Wahrscheinlich fressen sie jedoch Algen und Diatomeen, welche in großer Zahl auf dem Laichkraut haften. *Proales tillyensis*, deren Name sich auf den Fundort Tillysee bezieht, habe ich bei meinem ersten Fund nicht sofort



# MIKROKOSMOS

Zeitschrift für Mikroskopie

Herausgegeben von  
Klaus Hausmann (Berlin)

100. Jahrgang · 2011

**Impressum**

**Herausgeber:** Prof. Dr. Klaus Hausmann, Institut für Biologie/Zoologie, Freie Universität Berlin, Königin-Luise-Straße 1–3, 14195 Berlin, Telefon: +49(0)30/83 85 64 75, Telefax: +49(0)30/83 85 64 77, E-Mail: hausmann@zedat.fu-berlin.de; Redaktionsassistentin: PD Dr. Renate Radek, Institut für Biologie/Zoologie, Freie Universität Berlin, Königin-Luise-Straße 1–3, 14195 Berlin, Tel.: +49(0)30/83 85 63 73, E-Mail: rradek@zedat.fu-berlin.de  
**Verlag:** Elsevier GmbH – Urban & Fischer, Hackerbrücke 6, 80335 München, Tel.: +49(0)89/5 38 30, Fax: +49(0)89/5 38 39 39, E-Mail: info@elsevier.de  
**Anzeigenleitung:** Marcel Fischer, Advertising Management, Niederrasen/Rasun di sotto 69, 39030 Rasen-Antholz/Rasun-Anterselve (BZ), Italien (Südtirol)/Italia (Alto Adige), Tel.: +39 04 74 49 66 65, Mobil: +39 3480159984; E-Mail: marcel.fischer@elsevier.com  
**Anzeigenpreise:** Gültig ist die Preisliste vom 1. Januar 2011.  
**Lieferkonditionen (2011):** Band 100 (1 Band mit 6 Ausgaben)  
**Abopreise\* (2011):**

Land	Institutionen	Persönlich	Vorzugspreis für Schüler, Azubis und Studenten	Einzelheft
D, A, CH <sup>#</sup>	100,00 EUR	84,00 EUR	53,00 EUR	20,00 EUR

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

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

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

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

**Abonnements:** Bitte richten Sie ihre Bestellung an HGV Servicecenter Fachverlage, Abo-Service, Postfach 11 64, 72125 Kusterdingen, Deutschland.

Tel.: +49(0)7071/93 53 16, Fax: +49(0)7071/93 53 35, E-Mail: journals@elsevier.com

**Bankverbindung:** Deutsche Bank AG Reutlingen, Kontonummer 159 9950 (BLZ 640 700 85), IBAN DE54 6407 0085 0159 9950 00; BIC DEUTDE33

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

Bitte geben Sie bei der Zahlung Ihre vollständigen Daten an.

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

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

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

**Druck/Bindung:** Stürtz GmbH, Alfred-Nobel-Straße 33, 97080 Würzburg.

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

Hergestellt in Deutschland

Alle Rechte vorbehalten.

© Elsevier GmbH

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

## Verfasserverzeichnis

- Bartsch, I.:** Suktorien in Hydrothermal-Quellen der Tiefsee 292
- Bettighofer, W.:** Folliculinden aus dem Hiddenseer Bodden. Teil 1: Der Schwärmer 217
- Bettighofer, W.:** Folliculinden aus dem Hiddenseer Bodden. Teil 2: Der Neubau des Gehäuses 257
- Bothe, H.:** Toxine der Cyanobakterien 145
- Brogmus, H., Lüthje, E.:** Der Buchenspargel – Eine Pflanzenart im Verborgenen 65
- Burzlaff, A.:** Hochauflösende Lichtmikroskopie – Gestochen scharfe Bilder aus dem Nanokosmos 112
- Burzlaff, A.:** Anomalien am Nullpunkt – Wie man den Kondo-Effekt sichtbar macht 318
- Drews, R.:** Mikroskopie und Kunst 121
- Drews, R.:** Mit dem Exkursionsmikroskop am Mittelmeer – Krebse 209
- Foissner, W.:** Guten Appetit! – Amöbe labt sich an Ciliaten 167
- Fromm, Th.:** Anatomie und Biologie von Hydrozoa (Cnidaria) – Hydromedusen 154
- Galliker, P.:** Eine rätselhafte Propeller-Amöbe (*Vanella* spec.) 52
- Günther, G.:** Dunkelfeld-Beleuchtung für Stereomikroskope 116
- Hausmann, K., Radek, R.:** Editorial 1
- Hausmann, K.:** Wie entsteht ein MIKROKOSMOS-Artikel? – Von der mikroskopischen Beobachtung bis hin zum gedruckten Artikel 49
- Hausmann, K.:** Stereolupe mit Objektivrevolver – Eine optische Rarität 56
- Hausmann, K.:** Natriumchlorid: Konventionell kristallin gegittert, aber auch quasi explosiv und schließlich gar amorph 175
- Hausmann, K.:** Calcarinidae: Foraminiferen mit sternförmigen Gehäusen 337
- Hoc, S.:** Mikroskopische Untersuchung von Nektarhefen und anderen Hefepilzen 92
- Hoc, S.:** Mikroskopische Beobachtungen an Wurzelknöllchen und ihren symbiontischen Bakterien 163
- Husemann, H.:** Tensid-Lösungen unterm Polarisations-Mikroskop: Flüssigkristalline Phasen 29
- Könecke, M., Radek, R.:** Gregarinen in Schaben 105
- Kreutz, M.:** Das Bakterium *Holospira* im Ciliaten *Paramecium* – Symbiont oder Parasit? 129
- Laber, B.:** *Ancylistes closterii*, ein die Jochalgen-gattung *Closterium* parasitierender Pilz 100
- Laber, B.:** *Rhizophyidium cyclotellae* und *R. acuforme*, zwei Algen parasitierende niedere Pilze 321
- Lüthje, E., Brogmus, H.:** *Myrica gale* – Vom Gold der Gagelkoge 19
- Lüthje, E.:** Vom Keimling zum Thallus – Beobachtungen an Aufwuchsalgen 201
- Lüthje, E.:** Pollen, Pilze, Parasiten – Ein Domizil der Mauerbiene 343
- Maidhof, A.:** Osterluzei und Aronstab – Pflanzen mit ausgefallenem Bestäubungsmechanismus. Blütenbiologischer Vergleich zweier Kesselfallenblumen 286
- Nachtigall, W.:** Biomechanik von Flugsamen. Teil 5: Absinken von Pappus tragenden Diasporen mit geringer Flächenbelastung. Beispiel Weide (*Salix* spec.) 14
- Nachtigall, W.:** Biomechanik von Flugsamen. Teil 6: Diasporen der Tamariske mit rasch reagierenden hygroskopischen Pappushaaren: Funktionsmorphologie – Ausbreitung – Bionik 86
- Nachtigall, W.:** Biomechanik von Flugsamen. Teil 7: Zur Windverbreitung der Diaspore des Wiesenbocksbarts, *Tragopogon orientalis* 136
- Nachtigall, W.:** Nurflügler-Samen von *Alsomitra macrocarpa* – Die besten pflanzlichen Gleitflieger der Welt. Teil 1: Funktionsmorphologie und Gleitflug 223
- Nachtigall, W.:** Nurflügler-Samen von *Alsomitra macrocarpa* – Die besten pflanzlichen Gleitflieger der Welt. Teil 2: Optimierung und Größenvergleich 273
- Nachtigall, W., Wisser, A.:** Nurflügler-Samen von *Alsomitra macrocarpa* – Die besten pflanzlichen Gleitflieger der Welt. Teil 3: Feinbau und Stabilität 377
- Ortner, B.:** Das Torfmoos (*Sphagnum*) – Ein Baumeister ganzer Landschaften 297
- Piper, T., Piper, J.:** Variabler Hell-Dunkelfeld-Kontrast (VHDK) – Eine alternative Technik zur Untersuchung komplex strukturierter transparenter Objekte 369
- Raap, E., Cypionka, H.:** Vom Bilderstapel in die dritte Dimension: 3D-Mikroaufnahmen mit PICO-LAY 140
- Radek, R., Krüger, J., Yaman, M.:** Virenbefall von Kleidermottenlarven 311
- Schimmel, H.:** Gesteinsdünnschliffe für Anfänger 79
- Schimmel, H.:** Färbungen für paläontologische Objekte in Dünnschliffen 363
- Schmidt, R.:** Weiterentwicklung einer Mikroblicht-einrichtung 169

- Schnepf, E.:** *Selaginella* – Moosfarne mit anatomischen und cytologischen Besonderheiten. Teil 2: Blatt und Ligula 95
- Scholtz, G.:** Mikroästhetik – Bilder von historischen histologischen Präparaten der Zoologischen Lehrsammlung der Humboldt-Universität zu Berlin 280
- Steiner, E.:** Jones Most Improved Microscope von Peter Dollond 248
- Steinkohl, H. J.:** Zieralgen des Naturschutzgebiets Todtenauer Moor im Bayerischen Wald 193
- Steinkohl, H. J., Holzapfel, S.:** Digitale Aufnahmen mit Spiegelreflexkamera und Stereomikroskop. Ein Erfahrungsbericht mit Tipps für Neueinsteiger und Anwender 42
- Sturm, R.:** Mikroskopischer Einblick in Deformations- und Mineralumwandlungsprozesse von Scherzonen 241
- Sturm, R.:** Makrofotografie ausgewählter Weichtiere aus heimischen Gewässern 267
- Sturm, R.:** Bioaerosole – Mikroskopisch kleine tierische und pflanzliche Schwebepartikel in der Atmosphäre 329
- Voß, H.-J.:** Mit dem Mikroskop am Nil – Planktonuntersuchungen mit dem Swift-Exkursionsmikroskop 25
- Walz, B.:** Kristalline Welt – Es darf auch mal Hellfeld sein 183
- Wilts, E. F.:** Analyse der Körpermuskulatur der Rädertiere mithilfe der Konfokalen Laser Scanning Mikroskopie 70
- Wilts, E. F.:** Drei neue Rädertierarten aus Nordwestdeutschland – Von der Probennahme bis zur Artbeschreibung 351
- Wilts, E. F., Wulfken, D.:** Zur Formenvielfalt der Kieferhartelemente bei Rädertieren 4

### **Kurze Mitteilungen**

- Bettighofer, W.:** Konkurrenzsituation zwischen endosymbiontischen Chlorellen und Trichocysten im Cortex von *Paramecium* 187
- Lüthje, E.:** 1.000 Euro Lehrgeld: Eine kleine Begebenheit zur Erbauung und Belehrung der MIKROKOSMOS-Leser 186
- Radek, R.:** Der schnellste „Film“ der Welt 173
- Redaktion MIKROKOSMOS: Kraftstoffe aus Mikroalgen 161
- Schnepf, E.:** Die schwierige Geburt von Seitenwurzeln 13
- Schnepf, E.:** Horizontaler Gentransfer: Eine Schnecke wird zur Pflanze 123
- Schnepf, E.:** Autophagie bei der Differenzierung der trachealen Elemente von Pflanzen 381
- Wirtz, P.:** Das Pflanzentier *Elysia* 104

## Sachregister

- Abbiegeverhalten 379  
 Acanthocephala 4  
*Acineta sulcata* 293  
 Ackerschmalwand 13  
*Acroloxus lacustris* 268  
*Actinoptychus heliopelta* 140  
 Actinula 160  
*Adineta* 77, 355  
   – *vaga* 6  
 Aeroplankton 330  
 Agamogonie 105  
 Akinete 145  
 Alaun-Kristallisation 371  
 Alge 123  
 Algenläuse 207  
 Algenparasiten 321  
 Alizarinrot S 365  
*Alnus* 163  
   – *glutinosa* 165  
   – *incana* 165  
*Alsomitra macrocarpa* 223, 273, 377  
 Alveolinenquarzit 366  
*Amanita phalloides* 71  
 Amöben 52, 167, 337  
 Amphiphil 29  
 Ampulle 258  
*Anabaena variabilis* 145  
*Anabaenopsis* 146  
 Anaglyphenbild 142  
*Ancylistes closterii* 100  
*Ancylus fluviatilis* 268  
*Anisus*  
   – *leucostoma* 268  
   – *spirorbis* 268  
 Anneliden 105, 283  
*Anodonta* 268  
*Anthomyces* 92  
 Anthozoa 154  
 Anziehungskraft 368  
*Aphanizomenon* 146  
 Apicalkomplex 105  
 Apicomplexa 105  
 Apoplast 99  
 Apoptose 381  
*Arabidopsis* 381  
   – *thaliana* 13  
 Aragonit 82  
 Aralditaussguss 340  
*Arcella* 306  
   – *gibbosa* 38, 199  
*Archimandrita tessellata* 107  
*Aristolochia clematitis* 286  
 Aronstab 286  
 Artbeschreibung 351  
*Arthrodesmus octocornis* 195  
 Arthrosporen 92  
*Arum maculatum* 289  
 Asci 348  
*Ascospaera*  
   – *aggregata* 347  
   – *apis* 348  
 Ascospaeriose 348  
 Ascosporen 92  
*Aspergillus* 333  
*Aspidisca* 38  
*Aspidosperma* 276  
*Asplanchna*  
   – *brightwelli* 6  
   – *prionota* 9  
 Assel 283  
*Assilina* 80  
 Asteraceae 332  
*Atriofolliculina fauréana* 219  
 Aufwuchs 201, 335  
 Aufwuchsalgen 201  
 Augen 159  
 Augit 84  
*Aulacoseira* 26  
*Auplopus carbonarius* 346  
 Autogamie 221  
 Autophagie 381  
 Auxin 13  
  
*Bacillaria paradoxa* 38  
 Bäckerhefe 92  
*Baculogypsina sphaerulata* 340  
 Baculoviren, Lebenszyklus 314  
 Bakterien 329  
 Bakterioiden, Stickstoff-fixierende 163  
 Bandwürmer 284  
 Barbados 234  
 Barcoding 328  
 Bartmücken 288  
 Bartwürmer 292  
 Basommatophora 272  
 Basstölpel 335  
*Bathyomphalus contortus* 268, 270  
 Bauchbürste 349  
*Beauchampiella eudactylota* 72  
 Bergkiefer 194  
 Bestäubungsmechanismus 286  
*Betula verrucosa* 276  
 Biegekenngrößen 380  
 Bierhefe 262  
 Bild, gestackt 140  
 Bioaerosole 329  
 Bioklasten 80  
 Biomechanik 14, 86  
 Bipuvacaine 70  
*Bithynella austriaca* 267  
*Bithynia tentaculata* 269, 271  
*Blaberus craniifer* 107  
*Blaps mortisaga* 106  
 Blasenschnecke 270  
 Blastosporen 92  
 Blattbeine 283  
*Blattella germanica* 106  
 Blattfußkrebse 26  
*Blepharisma* 217  
 Blumentiere 154  
 Blutkörperchen, rote 368  
 Blutlaugensalz, rotes 365  
 BMG 214  
*Boletus calopus* 67  
*Bombyx mori* 142  
 Borse 19  
 Borstenscheibe 202  
*Bosmina longirostris* 27  
*Bougainvillia britannica* 159  
 Brachionen 61  
*Brachionus* 27, 73, 77  
 Brachiopoden 81  
 Braunalgen 335  
 Brillantgrün 364  
 Brutbeutel 283  
 Brutzellen 344  
*Bryceella* 77  
   – *perpusilla* 351  
   – *stylata* 5  
   – *voigti* 357  
 Bryozoen 281, 335  
 Bryozoenstock 365  
 Buchenspargel 65  
*Bugula flabellata* 281  
 Buntsandstein 83  
 Buschbohne 165  
*Bythotrephes* 213  
  
*Cacoxenus indagator* 347  
 Calanoiden 209  
*Calcarina gaudichaudii* 339  
 Calcarinidae 337  
 Calcit 82  
*Candida*  
   – *reukaufi* 92  
   – *utilis* 93  
*Catenipora* 363, 366

- Centropyxis* 306  
*Cephalodella*  
 – *forcicula* 76  
 – *gibba* 6  
 – *ungulata* 351  
*Ceramium* 37  
*Ceratomyxus hirundinella* 26  
*Ceriodaphnia quadrangula* 26  
 Cestoda 284  
*Chaetoceros* 335  
*Chaetopeltis orbicularis* 202  
*Chara* 81  
 Chemorezeptoren 159  
*Chironex fleckeri* 154  
 Chitin 261  
*Chlamydomonas* 321  
 – *braunii* 327  
 – *intermedia* 327  
 Chlamydosporen 92  
 Chlorellen, endosymbiontische 187  
*Chorda dorsalis* 283  
 Chordata 283  
 Chromatophoren 213  
 Chytridiales 321  
 Chytridiomycetes 321  
 Chytridiomycota 321  
*Chytridium* 321  
 Ciliaten 167  
*Ciona intestinalis* 283  
 Cirripedier 212  
*Cirsium* 86  
*Cistus* 19  
 Cladoceren 213  
*Cladonema radiatum* 159  
*Closterium* 194  
 – *acerosum* 100  
 – *cynthia* var. *cynthia* 196  
 – *lunula* 100  
 – *striolatum* 194  
 CLSM 70  
 Cnidaria 154, 284  
 Cnidocyten 154  
*Cocconeis* 38, 207  
 Co-Evolution 286  
*Coleochaete*  
 – *divergens* 202  
 – *scutata* 202  
*Collotheca trilobata* 9  
*Combretum lawsonianum* 276  
*Conochilus hippocrepis* 6  
 Copepoden 209, 293  
 Copepodid 210  
*Copidognathus nautilei* 292  
*Copilia mediterranea* 213  
 Coronalsphincter 74  
 Cortex 220  
*Corycaeus* 212  
*Corymorpha nutans* 159  
*Corynophrya abyssalis* 293  
*Coscinodiscus* 335  
*Cosmarium* 194  
 – *hammeri* var. *homalodermum* 197  
*Craspedacusta sowerbyi* 156  
 Cubozoa 154  
 Cyanobakterien 26, 145  
 Cyclopoiden 209  
*Cyclops* 27  
*Cyclotella* 322  
*Cylindrospermopsis* 146  
*Cylindrospermum* 145  
 3D-Bilderstellung 140  
 Deformationsumwandlungsprozesse 241  
*Demodex* 333  
*Dermatophagoides* 333  
 Deutomerit 106  
 Diasporen 14, 87, 136, 224, 273  
 Diatomeen 141, 338, 369  
 Dickfußröhrling 67  
*Dicranophoroides* 73, 357  
 – *caudatus* 6, 76  
*Dicranophorus* 77, 355  
*Didinium nasutum* 135  
 Differentialdiagnose 359  
 Dinoflagellaten 26, 338  
*Discocyclina* 80  
 DNA-Barcoding 328  
 Dolland, Peter 248  
 Dolomit 82  
 Dreikantmuschel 268  
*Dreissena* 268  
*Drosophila melanogaster* 347  
 Dunkelfeld-Beleuchtung 116  
 Dünnschliffe 363  
 Duschgele 32  
 Echinodermatenlarven 335  
*Ectocarpus* 37  
 Ektoderm 155  
 Ektosymbionten 292  
 Elaeagnaceae 163  
*Elodea densa* 202  
*Elysia*  
 – *chlorotica* 104, 123  
 – *ornata* 104  
 Emulgatoren 30  
 Emulsionen 30  
*Encentrum* 77  
 Energien, erneuerbare 161  
 Entoderm 155  
*Eosiphora anthadis* 10  
 Epimerit 106  
*Epiphanes* 77  
 – *clavatula* 10, 72  
 – *senta* 6  
 Epiphyten 201  
 Epizoon 201  
 Erbse 165  
 Erbsenmuschel 268  
 Erle 163  
 Erythrocyten 368  
 Erzwespe 344  
 Etymologie 359  
*Euastrum* 196  
 – *humerosum* var. *affine* 197  
*Eucentrum* 355  
*Euchlanis* 77  
*Eudorina elegans* 38  
*Eufolliculina* 258  
 – *moebiusi* 218  
 – *ubligi* 260  
 Eugleniden 61  
*Euplotes* 28  
*Eutonina indicans* 158  
*Evadne* 213  
 Exumbrella 158  
 Färbungen 363  
*Farranula* 212  
 Feldspat 81  
 Feuchthabitat 351  
 Feuerkoralle 157  
 Fichtenspargel 65  
*Filinia* 77  
 – *longiseta* 9  
 Flächenlast 378  
 Flohkrebs 283  
*Floscularia* 77  
 Flugsamen 14, 86, 136  
 Fluoreszenzmikroskopie 113  
 Flüssigkristalline Phasen 29  
 Flüssigseifen 32  
 Flussperlmuschel 267  
*Folliculina boltoni* 219  
 Folliculiniden 217, 257  
 –, Lebenszyklus 220  
*Folliculinopsis annulata* 219  
 Foraminiferen 80, 337, 369

- Fossilien 85  
*Fragillaria* 27  
 Francé, Raoul H. 1  
 Frusteln 156  
 Funktionsmorphologie 223  
 Flüssigkristalle 32  
 Fußscheibe 155
- Gagelkogge 19  
 Gagelstrauch 163  
*Galba truncatula* 269  
 Gametenbildung 156  
 Gamogonie 105  
 Gastovaskularsystem 159  
 Gastralraum 159  
 Gecko-Füße 15  
 Gedicht, illustriertes 60  
 Gehäusemorphologie 337  
 Generationswechsel 157  
 Gentianaviolett 364  
 Gentransfer, horizontaler 104, 123  
 Geosminen 146  
*Geotrichum candidum* 92  
 Geruch, aasartiger 288  
 Gesteine 241  
 Gesteinsdünnschliffe 79  
 Gesteinsmineralogie 246  
 Glasgarnelen 283  
 Glaukonit 80  
 Gleitflieger 273, 377  
 Gleitflug 223  
 Glimmer 81  
*Globigerina* 80  
 Glochidium-Larven 268  
*Gloeotrichia* 152  
 Glossopodium 97  
 Glucuronsäure 185  
 Gnathostomulida 4  
 Goethit 82  
*Gongrosira debaryana* 202  
 Granuloviren 313  
 Gregarinen 105  
 Großforaminiferen 338, 364  
 Großkern 219  
 Grünalgen 26, 338  
 Gymnostemium 288  
*Gyraulus alba* 270, 271
- Hämatoxylin 366  
*Hansenia apiculata* 94  
*Hapalosiphon* 146  
 Harpacticoiden 209  
*Harringia eupoda* 6  
 Hartbrut 348  
 Häubchenmuschel 271  
 Haufennest 344  
 Hefepilze 92, 331  
 Helgoland 334  
 Hell-Dunkelfeld-Kontrast, Variabler 369  
 Hepatotoxine 145  
*Heriades truncorum* 343  
 Heterocyste 145  
 Heterotriche 217  
*Hexacantium asteracanthion* 237  
*Hexarthra mira* 10, 73  
 Hiddenseer Bodden 217, 257  
*Hippophae rhamnoides* 163  
*Holospira*  
 – *acuminata* 134  
 – *elegans* 129  
 Holotyp 358  
 Honigbiene 343  
 Hormogonien 145  
 Hornblenden 82  
*Hottonia palustris* 201  
 Hühnchenembryo 281  
 Hülsenfrüchtler 163  
 Hummeraufzucht 334  
*Hyalotheka dissiliens* 196  
 – – f. *bidentulata* 197  
*Hydra* 155  
*Hydractinia echinata* 156  
 Hydrant 155  
 Hydrocaulus 155  
 Hydromedusen 154  
 Hydrophil 29  
 Hydrophob 29  
 Hydropolyp 155  
 Hydrothek 155  
 Hydrothermal-Quellen 292  
 Hydrozoa 154, 284  
 Hypostom 155  
*Hyrus piceus* 14
- Impaktionseffektivität 331  
 Infektionszyklus *Holospira* 130  
 Insekten 105  
 Insektenfallenblumen 286  
 Insektenpathogene 312
- Invertebraten 4  
 Iridoviren 313  
*Itura meyersi* 9  
 IWF Göttingen 40
- Jones Most Improved Microscope 248
- Kalkbrut 348  
 Kämmerlinge 338  
 Karminfarbstoff 281  
 Kaskadenimpaktor 331  
*Keratella* 27  
 Kesselfalle 289  
 Kesselfallenblumen 286  
 Kettenkoralle 363  
 Kieferhartelemente 4  
 Kiefernäulchen 4  
 Kieselalgen 26, 360  
 –, zentrische 321  
 Kineten 220  
 Kleiderlaus 142  
 Kleidermotten 311  
 Kleine Antillen 234  
 Kleinforaminiferen 366  
 Klemmfallen 286  
 Kleptochloroplasten 123  
 Knollenblätterpilz 71  
 Knospung 156  
 Kochsalz 175  
 Koffeinelösung 184  
 Kokons 344  
 Kommensalen 110  
 Komplexaugen 213  
 Kondo-Effekt 318  
 Konfokales Laser Scanning Mikroskop 70  
 Konidien 101  
 Konjugation 221  
 Kontaktadressen der Mikroskopischen Vereinigungen 2  
 Kontrastverstärkung 363  
 Korallen 81, 154  
 Kraftstoffe aus Mikroalgen 161  
 Kratzer 4  
 Krebse 209  
 Kreuzdorngewächs 163  
 Kristalle 175, 369  
 Kristallformationen 183  
 Kristalline Welt 183  
 Kryptogamen 321  
 Kugelmuschel 271  
 Kunst und Mikroskopie 121

- Lachmöwe 274  
*Lagotia* 263  
 – *aculeata* 219  
 – *expansa* 219  
 Laichkraut 352  
*Lamium album* 92  
 Längsstabilität 378  
*Laomedea dichotoma* 155  
*Laothoe populi* 281  
*Larus ridibundus* 274  
 Laser Scanning Mikroskop 113  
 Lebenszyklus, Folliculiniden 220  
*Lecane* 352  
 LED-Beleuchtungstisch 116  
 LED-Sektorenschaltung 44  
*Ledum palustre* 19  
 Legepräparate 252  
 Leguminosen 163  
 Lehrsammlung, zoologische 280  
*Lembadion lucens* 167  
*Lepadella* 355  
*Leptodora* 213  
 Leptomedusen 155  
*Leuckartiara octona* 157  
 Lichtsinnesorgan 158  
 Ligula 95  
*Linnognathia maerski* 4  
 Limonit 85  
*Lindia tecusa* 6  
 Linné, Carl von 19  
 Linse 165  
 Linsenaugen 213  
 Lipophil 29  
*Lithothamnium* 81, 365  
 Löcherbiene 343  
 Lokalanästhetikum 70  
*Lophocharis* 357  
 Lorica 219, 257  
 Luftplankton 329  
 Lupine 163  
 Luzerne 165  
*Lymnaea stagnalis* 268  
 Lymnaeidae 268  
*Lyngbya* 146  
 Lyotrop 31  
  
*Macrotrachela* 77  
 Magmatite 83  
*Magnifolliculina binalata* 219  
 Makronucleus 219  
 Malakologie 267  
 Malvaceae 332  
  
 Manteltiere 283  
 Manubrium 154  
*Margaritifera* 268  
*Margelopsis haeckeli* 159  
 Mastax 4  
 Materialprüfung 342  
 Mauerbiene 343  
 Maulbeerseidenspinner 142  
 Medusen 154  
 Meeresborstenwurm 283  
 Meeresmilben 292  
*Megachile* 347  
 Meiofauna 292  
*Melicertum octocostatum* 158  
 Membranellen 217, 259  
 Mesophasen 30  
 Metagenese 157  
 Metamorphite 83  
 Metanauplius 210  
 Methylenblau 364  
 Micellen 30  
*Micrasterias*  
 – *papillifera* 196  
 – *thomasiana* 196  
 – – var. *notata* 197  
*Microcodon clavus* 6  
*Microcystis* 146  
 Mikroalgen 161  
 Mikroästhetik 280  
 Mikroblickeinrichtung 169  
 Mikrofauna 292  
 Mikrofluidik 368  
 Mikrofossilien 80  
 Mikronuclei 103, 130, 220  
 Mikroskope 248  
 Mikroskopie und Kunst 121  
 Mikroskopische Vereinigungen, Kontaktadressen 2  
 Milchschimmel 92  
*Millepora* 157  
 Mineralumwandlungsprozesse 241  
 Mittelmeer 209  
 Molekulardynamik 368  
 Mollusken 81, 267  
 Monopylea 238  
*Monotropa*  
 – *hypophegia* 65  
 – *hypopitys* 65  
 Moor 297  
 –, Todtenauer 193  
 Moortypen 297  
 Moosfarn 95  
 Moostierchen 81, 281  
  
 Mörtelbienen 347  
 Mount  
 – Diablo 234  
 – Hillaby 234  
 Mucopolysaccharide 261  
*Muscari* 345  
 Muschelkrebse 293  
*Musculium lacustre* 268  
 Muskulatur 70  
 Mutualismus 163  
 Mykorrhiza 67  
 Mykotroph 67  
*Myrica gale* 19, 163  
*Myrionema* 156  
*Mytilina* 73, 357  
 – *trigona* 76  
 Myzel 92, 348  
  
 NaCl 175  
 Nanokosmos 112  
 Nasselariden 232  
 Natriumchlorid 175  
 Nauplien 209  
 Naupliusauge 209  
 Naupliuslarven 26  
*Nebela* 306  
*Nectaromyces* 92  
 Negativfärbung 363  
 Nektarhefen 92  
 Nematocyten 154  
 Nematoden 293  
 Nervennetz 159  
 Nesselkapseln 157  
 Nesseltiere 154  
*Netrium digitus* 194, 197  
 Neurotoxine 145  
 Nil 25  
*Nitzschia* 27  
*Nodularia*  
 – *harveyana* 146  
 – *spumigena* 146  
*Nostoc* 146  
*Notholca bipalium* 73  
*Notommata* 77  
 Nukleopolyhedrosevirus 312  
*Nummulites* 80  
 Nurflügler-Samen 223, 273, 377  
  
*Obelia*  
 – *dichotoma* 156  
 – *geniculata* 284  
 Oberflächenspannung 29  
 Objektivrevolver 56

- Ocelle 158  
 Odontella 335  
 Oidium lactis 94  
 Olivin 84  
 Ölweidengewächs 163  
 Onagraceae 332  
 Onychonema filiforme 196  
 Oomyceten 321  
 Oomycota 321  
 Orbitolina 80  
 Ornamente 360  
 Oscillatoria 26, 146  
 Osmia rufa 343  
 Osterluzei 286  
 Ostfriesland 351  
 Ostracoden 81, 293  
 Ovipar 268
- Paläontologische Objekte 363  
 Palmodicton 327  
 Pantoffeltier 103  
 Pappeln 14  
 Pappelschwärmer 281  
 Pappus 14, 86  
 Pappushaare 86  
 Pappusstrahlen 136  
 Paramecium  
 – bursaria 61, 134, 187  
 – caudatum 129  
 Parasiten 129, 343  
 Parasitoide 346  
 Parthenogenese 160  
 Pediastrum duplex 26  
 Pediculus vestimenti 142  
 Pelagothrix chlorelligera 167  
 Penium spirostriolatum 196  
 – – var. spirostriolatum 197  
 Peracarida 283  
 Periphyton 357  
 Peripylea 237  
 Peristomflügel 257  
 Peritriche 217  
 Petrographische Mikroskopie  
 79  
 Pharynx 4  
 Phialella quadrata 159  
 Philodina 77, 355  
 – citrina 9  
 Phleum pratense 332  
 Photobioreaktor 161  
 Phycomyceten 321  
 Phylogenie 4  
 Physa fontinalis 269, 271  
 Physalia physalis 157
- PICOLAY 140  
 Pilze 100, 343  
 –, niedere 321  
 Pilzzellen 329  
 Pinhole 70  
 Pinnularia 38  
 Pinus  
 – montana 194  
 – sylvestris 332  
 – uncinata 194  
 Pisidium  
 – casertanum 268  
 – obtusale 268  
 – subtruncatum 268  
 – nitidum 268  
 Pithecoctenum echinatum 276  
 Planktonuntersuchungen 25  
 Planktonwoche Bodman 58  
 Planktothrix 146  
 Planorbarius  
 – corneus 268, 270, 271  
 – planorbis 267  
 Planularlarven 158  
 Plathelminthes 284  
 Platyonus 77, 357  
 Plattenkalk, Solnhofener 82  
 Platterbse 165  
 Plattphase 257  
 Platynereis 283  
 Pleurotaenium 194  
 Pleurotrocha petromyzon 4, 9,  
 76  
 Podocoryne carnea 159  
 Podon 213  
 Pogonophoren 292  
 Polarisations-Mikroskop 29  
 Pollen 329, 343  
 Polster-Grünalge 202  
 Polyarthra 77  
 Polychaeten 283, 292  
 Polycystineen 232  
 Polypen 38, 61, 154, 284  
 Polyphemus 213  
 Polysiphonia 37  
 Porst 19  
 Portugiesische Galeere 157  
 Posthornschncke 271  
 Potamopyrgus antipodarum 269,  
 271  
 Praethecacineta halacari 293  
 Präparate, historische histo-  
 logische 280  
 Primit 106
- Proalea  
 – daphnicola 74  
 – decipiens 353  
 – tillyensis 6, 75, 351  
 Proglottiden 284  
 Propeller-Amöbe 52  
 Protogyn 288  
 Protomerit 106  
 Pseudomyzel 92  
 Pteraster militaris 281  
 Pyrit 82  
 Pyroxene 82  
 Pyxicola 37
- Quarz 81  
 Quellschncke 267
- Räderorgan 4  
 Rädertiere 4, 70  
 –, monogononte 351  
 Radiolarien 81, 232, 360  
 Radix  
 – balthica 268  
 – labiata 268  
 Rankenfüßer 212  
 Ranzenkrebse 283  
 Raphidiopsis 146  
 Rathkea octopunctata 160  
 Retikulopodium 338  
 Reusenhaare 288  
 Reynoldszahlen 17, 274  
 Rhamnaceae 163  
 Rhizobium 163  
 – japonicum 165  
 – leguminosarium 165  
 – lupini 165  
 – meliloti 165  
 – phaseoli 165  
 – trifolii 165  
 Rhizoid 323  
 Rhizophydiales 321  
 Rhizophydium  
 – acuforme 321  
 – cyclotellae 321  
 Rhodotorula 93  
 Riesenschabe, Geflügelte 107  
 Rinderbandwurm 284  
 Rippenquallen 335  
 Röntgenstrahlen 173  
 Rotalgen 335, 338  
 Rotifera 4  
 Rotopodien 54  
 Ruderfußkrebse 26

- Saccharomyces*  
 – *carlsbergensis* 93  
 – *cerevisiae* 93, 262, 333  
 – *octosporus* 93  
*Saccharomycoides ludwigii* 94  
*Salix* 14, 86  
 Samenbildung 286  
 Samenhaare 14  
 Sanddorn 163  
 Sandlückensystem 4  
 Sapphiriniden 213  
*Sarsia*  
 – *gemmifera* 160  
 – *prolifera* 160  
 Satellit 106  
 Saubohne 164  
*Scaridum longicaudum* 76  
 Schabe, Deutsche 106  
 Schaben 105  
 Scheibenquallen 154  
 Scherzonen 241  
 Schichtdicke 369  
 Schild-Grünalge 205  
 Schimmelpilz 331  
 Schizogonie 105  
*Schizosaccharomyces octosporus*  
 94  
 Schlammschnecken 268  
 Schmetterlingsmücken 288  
 Schnauzenschnecken 270  
 Schneeflocken 372  
 Schnepf, Eberhard 253  
 Schuttkalk, biogener 80  
 Schwalbenwurz 286  
 Schwämme 81  
 Schwärmer 217, 257, 294  
 Schwärmsporen 323  
 Schwebstoffe 329  
 Schweressinnesorgan 159  
 Schwinggrasen 297  
 Scyphozoa 154  
 Seeanemonen 154  
 Seeigelstacheln 81, 365  
 Seescheide 283  
 Seestern 281  
 Seewespe 154  
*Segmentina nitida* 270  
 Seidenfäden 346  
*Seison nebaliae* 9  
 Seitenwurzeln 13  
 Seitwind 274  
 Sektoren-Beleuchtung 47  
*Selaginella*  
 – *kraussiana* 97  
 – *lyalli* 98  
 – *martensii* 95  
 Simmelried 133  
 – Moor 167  
*Sinatherina* 77  
 Sinkgeschwindigkeit 137, 274  
 Sinkversuche 87  
*Skeletonema* 37  
*Smerinthus populi* 281  
 Sojabohne 165  
*Solium exsculptum* 144  
 Solnhofener Plattenkalk 82  
 Spatha 290  
 Sphaeriidae 271  
 Sphagnophile Organismen  
 306  
*Sphagnum* 297  
 – *acutifolium* 299  
 – *balticum* 298  
 – *centrale* 299  
 – *compactum* 299  
 – *contortum* 299  
 – *cuspidatum* 298  
 – *denticulatum* 299  
 – *fimbriatum* 299  
 – *fuscum* 298  
 – *girgensohnii* 299  
 – *imbricatum* 299  
 – *inundatum* 299  
 – *magellanicum* 298  
 – *obtusum* 299  
 – *palustre* 299  
 – *papillosum* 299  
 – *platyphyllum* 299  
 – *pulchrum* 299  
 – *quinquefarium* 299  
 – *recurvum* 299  
 – *riparium* 299  
 – *robustum* 299  
 – *rubellum* 298  
 – *squarrosus* 299  
 – *subsecundum* 299  
 – *warnstorffii* 299  
 Spiegelreflexkamera 42  
 Spirke 194  
*Spirostomum* 217  
*Spitotaenia condensata* 196  
 Spitzschlammschnecke 267  
*Spondylosium tetragonum* 196  
 Sporangien 348  
 Sporen 329  
 Sporogonie 105  
 Spülmittel 32  
 Spumellariden 232  
*Squatinella* 77, 355  
 – *longispinata* 73  
 Stabilität 378  
 Stachelhäuter 81  
 Stacken 140  
*Stagnicola corvus* 269  
 Stapelaufnahmen 45  
 Staubmilben 330  
*Staurastrum* 196  
 – *senarium* var. *senarium* 197  
*Staurodesmus triangularis* 198  
*Staurodisarsia producta* 158  
 STED-Mikroskopie 112  
 Steinklee 165  
 Steinkorallen 264  
 Stenotherm 267  
*Stentor* 217, 262  
 – *coeruleus* 28  
 – *polymorphus* 28  
 Stentorin 261  
*Stephanoceros* 352  
 – *fimbriatus* 6, 73  
*Stephanodiscus* 323  
 – *rotula* 325  
 Stereofotografie 140  
 Stereolupe 56  
 Stereomikroskop 42  
 Stickstoff-fixierende Bakterioiden  
 163  
 Strahlentiere 232  
 Stroboskopaufnahmen 226  
 Stromatoporen 81  
 Strömungswiderstand 368  
*Stylocephalus longicollis* 106  
 Subumbrella 159  
 Suktorien 292  
 Sumpfdeckelschnecke 268  
 Sumpfwurm 217  
 Surfactant 333  
 Süßwassermeduse 156  
 Süßwasserpolyp 155  
 Swift-Exkursionsmikroskop 25  
 Symbiont 129  
 Symplast 99  
*Synedra acus* 324  
 Syzygie 105  
  
*Taenia saginata* 284  
 Tamariske 19, 86  
*Tamarix gallicus* 86  
*Taraxacum* 86  
 – *officinale* 14, 136  
 Tauffliege 347  
 Teichmuschel 267

- Teilingia*  
 – *excavata* 196  
 – *granulata* 196  
 Tellerschnecke 80, 267  
 Tensid-Lösungen 29  
*Testudinella* 77  
*Thalassiosira* 335  
*Thecacineta calix* 293  
 Thecamöben 306  
*Tiaropsis multicirrata* 159  
 Tiefsee 292  
*Tineola bisselliella* 311  
 Tintinninen 81  
 Todtenauer Moor 193  
 Torfmoos 297  
 –, Systematik 299  
*Torulopsis* 93  
 Totenkäfer, Großer 106  
 Totenkopfschabe 107  
 Toxine, cyanobakterielle 145  
 Tracheen 381  
 Tracheiden 381  
*Tragopogon orientalis* 136  
 Traubenhyazinthe 345  
 Treibhausgasemissionen 161  
*Trichocerca* 357  
 – *rattus* 10  
 Trilobiten 81  
*Triops cancriformis* 283  
 Triphenylmethanfarbstoffe 364  
 Trochophora 268  
 Trompetentierchen 28  
 Trophi 5  
 Trophielemente 354  
 Tunicata 283  
 Turmschnecke 80  
 Typenmaterial 358  
  
*Ulmus montana* 276  
*Ulothrix* 206  
 Umbrella 159  
 Umezakia 146  
*Unio* 268  
 Urzeitkrebse 283  
  
*Valvata piscinalis* 269  
 Van-der-Waal-Kräfte 15  
*Vanella*  
 – *miroides* 53  
 – *simplex* 53  
*Vaucheria litorea* 123  
 Veliger 268  
 Velum 156  
 Ventralscopa 350  
 VHDK 369  
*Vicia faba* 164  
 Vielborster 292  
*Vincetoxicum hirundinaria* 286  
 Viren 329  
 Virenbefall 311  
 Viruseinschlusskörper 312  
 Vitamin C 373  
 Vivipar 268  
*Viviparus* 268  
 Vogelfuß 165  
*Vorticella* 37  
 Wasserfeder 201  
 Wasserflöhe 213  
 Wasserkäfer 14  
 Wasserpest 202  
 Wasserprimel 201  
 Wechseltierchen 337  
 Wegwespe 346  
 Weichtiere 267  
 Weide 14  
 Weißklee 165  
 Wettersteinkalk 366  
 Wicke 165  
 Wiesenbocksbart 136  
 Wiesen-Lieschgras 331  
 Windkanal 274  
 Würfelquallen 154  
 Würmer 81  
 Wurzelhaare 164  
 Wurzelknöllchen 163  
  
 Zanonie 223  
 Zeitlupenaufnahmen 173  
 Zieralgen 193  
 Zoochlorellen 156, 338  
 Zoologische Lehrsammlung  
 280  
 Zoosporangien 323  
 Zoosporen 205, 321  
*Zoothamnion* 37  
 Zooxanthellen 338  
 Zopf, Friedrich Wilhelm 321  
 Zungenhahnenfuß 202  
*Zygosaccharomyces* 93



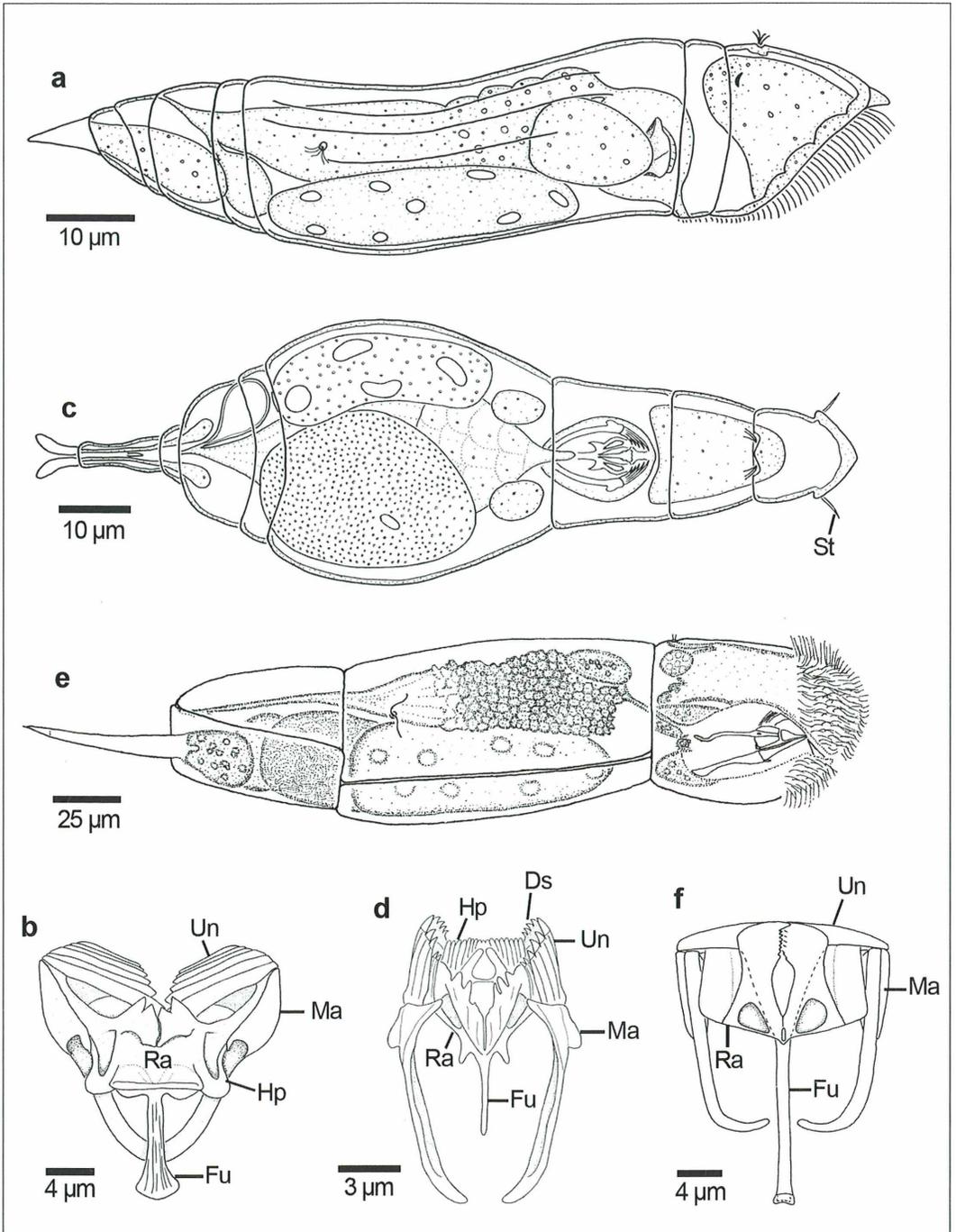
**Abb. 2:** Zu den Probenahmen verwendete Geräte und Methoden. **a** Filterzylinder aus ineinandergesteckten PVU-Rohren. **b** Meiofauna-Kescher. **c** Im Frischhaltebeutel aufbewahrtes Moos zur Inkubation im Kühlschrank.

als neue, sondern mit einem flüchtigen Blick vorschnell als die bereits bekannte und sehr ähnliche Art *Proales decipiens* (Ehrenberg, 1832) identifiziert. Dazu muss man wissen, dass ein Großteil der Artbeschreibungen dem Alter entsprechend ungenau und lückenhaft ist. Viele Rädertierarten wurden gegen Ende des 18. Jahrhunderts/zum Beginn des 19. Jahrhunderts beschrieben. Daher beinhalten ihre knappen Erstbeschreibungen vielfach nur mehr oder weniger grobe Habituszeichnungen und lassen oftmals detaillierte Darstellungen der Trophielelemente, die für die Determinierung besonders wichtig sind, missen. Auch neuere Funde sind leider oftmals schlecht dokumentiert und die vorhandenen Bestimmungsschlüssel vielfach nicht eindeutig. Aufgrund dieser Tatsache habe ich erst ein Jahr nach dem ersten Fund der Tiere aus dem Tillysee anhand der im Rasterelektronenmikroskop (REM) analysierten Trophipräparate (Abb. 5b) festgestellt, dass sie eine konstante Anzahl von sechs Uncizähnen (Abb. 3b) besitzen und damit morphologisch von der Art *P. decipiens* abweichen, die lediglich vier beziehungsweise fünf Uncizähne auf-

weist. Lichtmikroskopisch ist dieser Befund nur mithilfe sehr sorgfältiger Präparation und guter Optik nachzuvollziehen. Neben diesem bestehenden Merkmal fand ich bei *P. tillyensis* noch eine Reihe weiterer morphologischer und ökologischer Unterschiede zur bekannten Art *P. decipiens*: Es existiert keine deutliche Einschnürung zwischen Magen und Darm, die Zehenbasen sind nicht aufgetrieben (Abb. 3a, 4a und 5a), die Körperlänge ist geringer (85–170  $\mu\text{m}$ ), und die Tiere treten im späten Verlauf des Sommers (wenn die Temperaturen für mehrere Tage über 20 °C liegen) statt im Herbst auf. Da die Tiere nur in einem sehr begrenzten Zeitfenster zu finden sind, habe ich in den Folgejahren 2008 und 2009 weiteres Material gesammelt, um intraspezifische Variation auszuschließen und um Typenmaterial für eine Beschreibung zu präparieren.

### *Bryceella perpusilla*

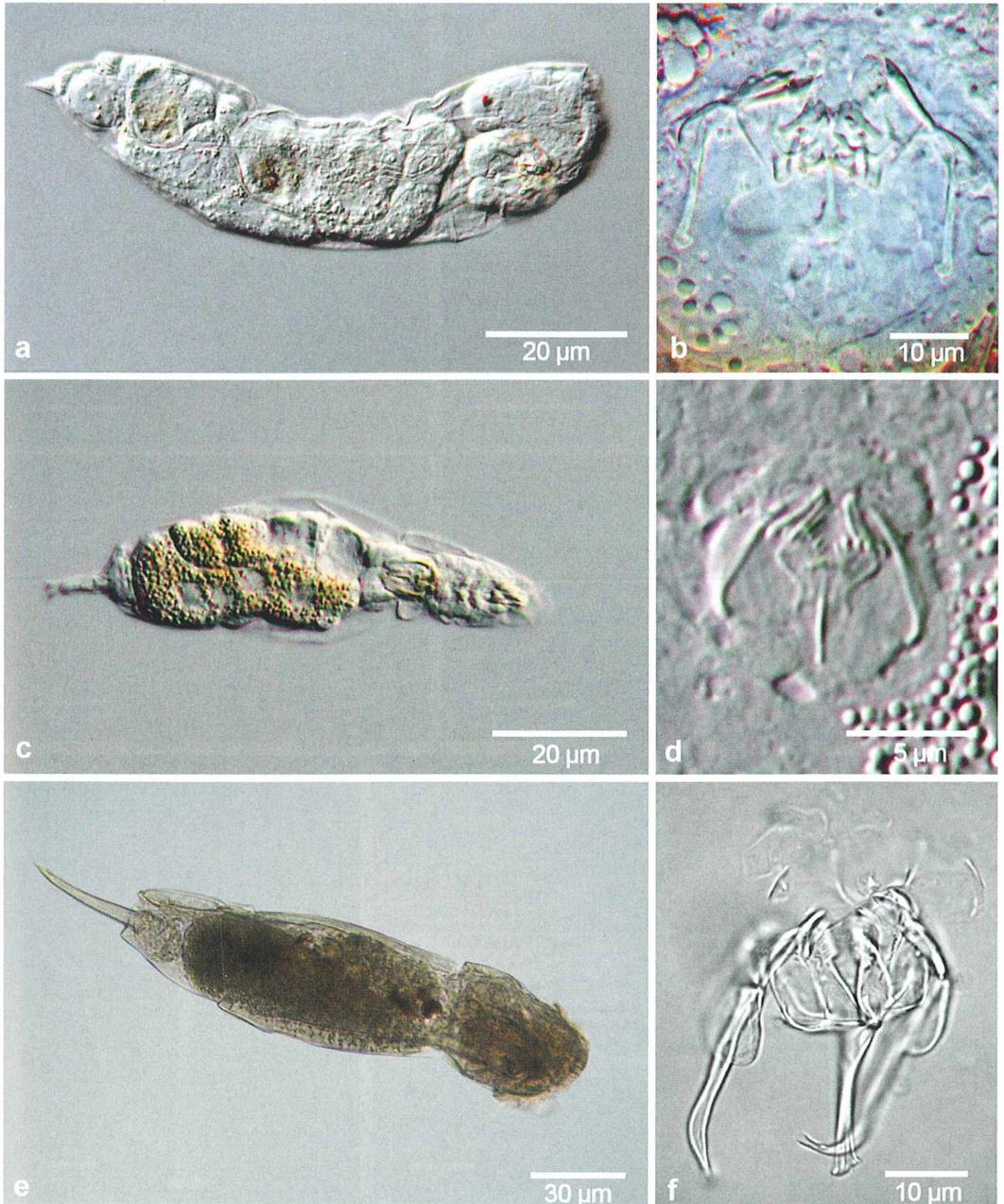
Die Gattung *Bryceella* umfasst inklusive *Bryceella perpusilla* (Abb. 3c, d, 4c, d und 5c, d)



**Abb. 3:** Zeichnerische Darstellung der drei neuen Rädertierarten und ihrer Trophieelemente. **a** und **b** *Proales tilyensis* (nach Wilts und Ahlrichs, 2010). **c** und **d** *Bryceella perpusilla* (nach Wilts et al., 2010). **e** und **f** *Cephalodella ungulata* (nach Fischer und Ahlrichs, 2006). Ds distaler Subuncus, Fu Fulcrum, Hp Hypopharynx, Ma Manubrium, Ra Ramus, St Stylus, Un Uncus.

lediglich drei Arten, welche durch das Vorhandensein seitlicher, zu Styli verklebter Cilien (Abb. 3c) charakterisiert sind. Sie sind in Mooren, Moosen, im Psammon saurer Gewässer und in der Laubstreu verbreitet. Der vergebene Name *B. perpusilla* leitet sich vom lateinischen *perpusillus* „sehr klein“ ab. Die Art erreicht

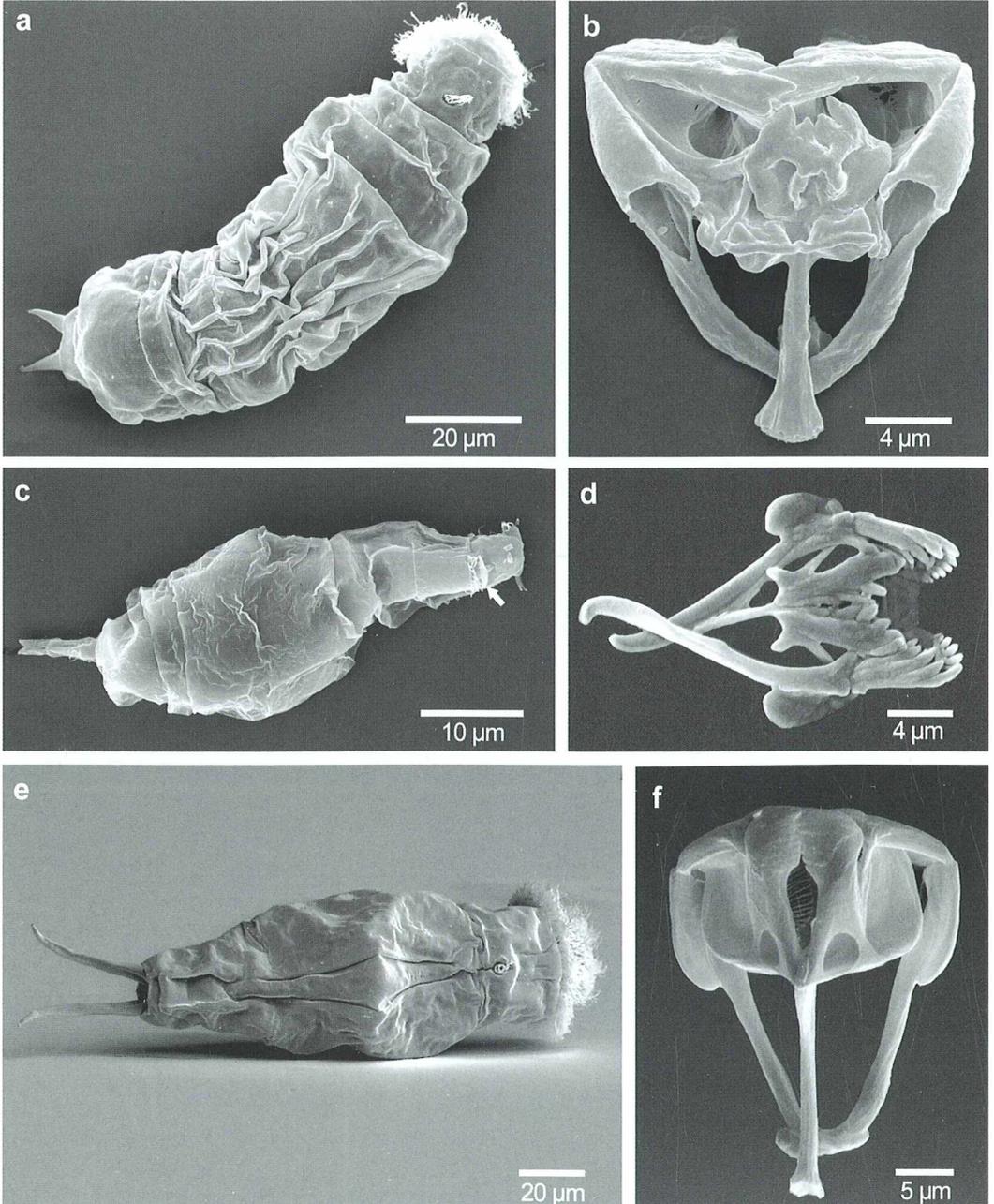
nämlich eine maximale Körperlänge von etwa 80  $\mu\text{m}$  und ist damit eines der kleinsten Rädertiere und vielzelligen Tiere überhaupt. Sie bewohnt zusammen mit Vertretern anderer Rädertiergattungen wie *Adineta*, *Philodina*, *Encentrum*, *Dicranophorus*, *Lepadella* und selten auch *Squatinella* terrestrische Moose in



**Abb. 4:** Lichtmikroskopische Habitus- und Trophi-Aufnahmen. **a** und **b** *Proales tillyensis*. **c** und **d** *Bryceella perpusilla*. **e** und **f** *Cephalodella unguolata*.

geringer Individuenzahl. Dabei ist sie ausgezeichnet an ihr unwirtliches Habitat angepasst: Der dorsoventral abgeflachte Körper erlaubt es ihr, auf dünnen, mit dem feinsten Wasserfilm überzogenen Moostrieben zu leben. Die Schwimmfähigkeit scheint dafür weitestgehend

reduziert zu sein. Die Tiere sind schlechte Schwimmer und lassen sich bei unfreiwilliger Beförderung in die Wassersäule bewegungslos fallen, bis sie wieder Substrat unter sich wahrnehmen, um dann blitzschnell mit ruckartigen Bewegungen davon zu gleiten. Für gewöhnlich



**Abb. 5:** REM-Aufnahmen der Rädertiere und ihrer Trophieelemente. **a** und **b** *Proales tillyensis*. **c** und **d** *Bryceella perpusilla*. **e** und **f** *Cephalodella ungulata*. Pfeil = Epidermishwulst.

tritt *B. perpusilla* nur bei kühlen Außentemperaturen um 5–10 °C auf, weshalb eine Inkubation der Proben im Kühlschrank stattfand.

Auch bei dieser Art war die Bestimmung beziehungsweise die Erkenntnis schwierig, dass es sich um eine neue Spezies handelt, ähnlich wie im Falle von *P. tillyensis*. Die aufgrund ihrer schnellen Bewegungsweise und extrem kleinen Körpergröße schwierig zu mikroskopierenden Tiere habe ich als *Wierzejskiella vagneri* Koniar, 1955 (Familie der Dicranophoridae) bestimmt, da dies zunächst die einzige dokumentierte Art war, dessen grobe Habitusdarstellung und -beschreibung auf die gefundenen Exemplar zutraf. Die ausschließlich durch grobe Umrisse dokumentierten Kieferhartelemente schienen ebenfalls mit denen der untersuchten Tiere übereinzustimmen, zumal diese (Abb. 3d, 4d und 5d) aufgrund ihrer winzigen Größe (13 µm Gesamtlänge) und der begrenzten Auflösung des Lichtmikroskops nicht in ihrer detaillierten Organisation erkennbar waren (Abb. 4d). Die ruckartige, über das Substrat gleitende Bewegungsweise erinnerte jedoch stark an die von *Bryceella*. Bei einer späteren lichtmikroskopischen Untersuchung unter Verwendung des Betäubungsmittels Bupivacaine stellte ich fest, dass der Dorsaltaster teilweise durch einen Epidermiswulst (Pfeil in Abb. 5c) bedeckt war, ein Merkmal, dass ich erst kurz zuvor elektronenmikroskopisch bei *Bryceella stylata* festgestellt hatte. Meine ursprüngliche Determinierung revidierte ich daraufhin zugunsten von *Bryceella voighti* sp. inq. Rodewald, 1935, einer nicht minder schlecht und fragmentarisch dokumentierten Art aus Rumänien, deren Existenz mehrfach angezweifelt wurde, weshalb sie in der aktuellen Liste valider Rotifera-Arten von Segers (2007) fehlt.

Etwa ein Jahre später hatte ich Zugang zu einem neuen, höher vergrößernden, stufenlosen Stereomikroskop (Leica MZ12.5), mit dem mir erstmalig eine erfolgreiche Präparation der Trophi für die Rasterelektronenmikroskopie (REM) glückte (Abb. 5d). Bei der anschließenden Analyse fand ich weitere Merkmale (Vorhandensein eines ausgeprägten mehrschichtigen Hypopharynx und distalen Subuncus), die eindeutig für eine Klassifizierung als *Bryceella*-Art sprachen. Gegen eine Determinierung als *W. vagneri* sprachen letztendlich das Vorhandensein von Cirren am Räderorgan, der deutlich gegliederte Rumpf und Fuß (Abb. 3c und 5c) sowie das Fehlen eines Intramalleus (Element zwischen Uncus und Manubrium). Eine

sichere Identifizierung der von mir gefundenen Tiere als *Bryceella voighti* sp. inq. erwies sich allerdings aufgrund der sehr unzuverlässigen Erstbeschreibung ebenfalls als nicht haltbar und somit erschien die Beschreibung einer neuen Art als die sinnvollste Option.

### *Cephalodella ungulata*

*Cephalodella* (Notommatidae) stellt mit ihren über 190 Vertretern eine der artenreichsten Gattungen innerhalb der Rädertiere dar. Habituell ähneln sich die einzelnen Arten sehr stark, sodass eine eindeutige Determinierung, wie bei vielen anderen Rädertieren auch, meist nur mit einer genauen Untersuchung der Trophi möglich ist, die zwecks einer einfacheren Bestimmung in verschiedene Kategorien eingeteilt wurden. Ursprünglich wurden die *Cephalodellen* jedoch fast ausschließlich habituell (anhand des Verhältnis Zehen- zu Körperlänge, dem Vorhandensein von Augen und der Zehenform) bestimmt. Aufgrund der Artenfülle und der generell eher schlechten Beschreibungen ist es in der Regel schwer, neue *Cephalodella*-Arten zu erkennen. Hier helfen normalerweise nur eine Nachuntersuchung und ein direkter Vergleich mit anderen in Frage kommenden Spezies. *Cephalodella ungulata* (lateinisch *ungula* „Huf“ bzw. „Kralle“; Abb. 3e, f, 4e, f und 5e, f) trat bei ihrem Fund in geringer Individuenzahl gemeinsam mit Vertretern der Gattungen *Lophocharis*, *Mytilina*, *Dicranophoroides*, *Trichocerca* und *Platinius* zwischen dem Periphyton (Mikroalgen-Aufwuchs) auf, wo sie sich hauptsächlich von autotrophen Flagellaten ernährt. Ihre eher überdurchschnittliche Gesamtlänge von knapp 290 µm, die asymmetrischen Unci, die mit sehr kleinen Krallen versehenen Zehen (Abb. 3e), der dorsale Sulcus des Präanus-Pseudosegments (Abb. 5e) und das Fehlen von Augen unterscheidet sie von anderen Arten der Gattung.

### **Ist noch immer mit dem Fund neuer Rädertierarten zu rechnen?**

Obwohl die ersten Rädertiere schon um 1770 beschrieben wurden, warten offenbar noch immer etliche Arten darauf entdeckt und beschrieben zu werden. Eine Vielzahl von Spezies wurde von bekannten Autoren wie Christian Gottfried Ehrenberg, Adolf Remane, Walter

Koste und Kurt Wulfert in Deutschland entdeckt, das traditionell eine Hochburg der Rädertierforschung darstellt. Doch in heutiger Zeit sind richtige Rädertiertaxonomien rar geworden, weltweit gibt es gerade noch eine Handvoll. Zwei der beiden führenden Taxonomen stammen aus Belgien (Willem De Smet und Hendrik Segers) und haben insbesondere in den letzten 20 Jahren eine Vielzahl neuer Rotifera-Arten, -Gattungen und mitunter sogar -Familien beschrieben. Zwar stammt der überwiegende Teil der von ihnen entdeckten Taxa aus fernerer Regionen wie Kenia, Nigeria, Burundi, Spitzbergen, dem Kerguelen-Archipel, dem hocharktischen Kanada oder Japan, doch wurden ebenfalls viele Arten in Nachbarländern wie den Niederlanden, Frankreich, Belgien und Italien gefunden. Die Wahrscheinlichkeit auch in Deutschland auf bisher unbekannt Rädertierarten zu stoßen, ist folglich relativ hoch. Die vielen optisch hervorragend ausgestatteten Hobbymikroskopiker, Rädertierliebhaber und engagierten Laien hierzulande sollen daher durch den vorliegenden Artikel ermutigt werden, gefundene, nicht eindeutig identifizierbare Rädertiere genauer zu studieren und falls nötig und möglich, eine Neubeschreibung (gegebenenfalls mit Rücksprache oder Hilfe von Experten) in Erwägung zu ziehen. Man bedenke an dieser Stelle, dass Walter Koste, einer der weltweit bekanntesten Rädertierforscher, von Beruf in der Position eines Biologielehrers und Schulleiters tätig war.

### **Aufbau einer guten Artbeschreibung**

Um neue Arten zu beschreiben, sind im Grunde drei Dinge erforderlich: 1. Eine gute Sachkenntnis der jeweiligen Tiergruppe, 2. die nötige technische Ausstattung mit Zugang zu den notwendigen Chemikalien sowie 3. die nötige Beharrlichkeit, Tiere zu sammeln und als zu hinterlegendes Typenmaterial zu präparieren. Vielfach findet man Rädertierarten nur in sehr geringen Individuenzahlen und selbst große Populationen mit massenhaften Individuen existieren oft nur in sehr engen Zeitfenstern und können vom einen auf den anderen Tag zusammenbrechen. Wenn nicht frühzeitig und weitsichtig genügend Material für verschiedene Zwecke gesammelt und fixiert wurde, kann es Monate oder sogar Jahre dauern, eine bestimmte Art erneut zu finden.

Hat man einen einigermaßen fundierten Überblick über die jeweilige Tiergruppe und ist sich sicher, eine bisher unbeschriebene Spezies gefunden zu haben, beginnt man mit der Dokumentation und der Präparation von Typenmaterial (lichtmikroskopische und eventuell auch elektronenmikroskopische Dauerpräparate), welches in Museen oder in von Forschungseinrichtungen verwalteten Sammlungen hinterlegt werden kann. Die von mir und meinen Kollegen beschriebenen Arten sind beispielsweise im Museum für Naturkunde der Humboldt-Universität zu Berlin hinterlegt. Dazu wird der so genannte Holotyp vom Beschreiber als namensgebendes Belegexemplar als „der Typus“ einer neuen Art festgelegt. Als Paratypen werden weitere vollständige Individuen oder auch freigelegte Körperteile bezeichnet, die der Beschreiber neben dem Holotyp in die Untersuchung mit einbezieht (Winston, 1999). Im Fall der Rädertiere handelt es sich dabei entweder um weitere Individuen oder um die Kieferhartelemente (zur Präparation siehe Wilts und Wulfken, 2011). Bei Crustacea sind es hingegen in der Regel die Mundwerkzeuge oder Körperanhänge. Für lichtmikroskopisches Typenmaterial werden einzelne Tiere betäubt, mit Paraformaldehyd fixiert und in Glycerin auf einen Objektträger eingebettet (siehe auch Koste, 1978). Habituspräparate für die Elektronenmikroskopie müssen entsprechend fixiert, entwässert, getrocknet und mit Kohlenstoff, Gold oder Platin bedampft werden.

Ist das nötige Typenmaterial präpariert, muss für die neue Spezies ein Name vergeben werden, der bis dato noch nicht vergeben ist und auf dem binominalen Prinzip von Linnaeus beruht (vorangestellter Gattungsname und nachgestellter Artnamen). Darauf folgt die Formulierung einer Artbeschreibung in Form eines wissenschaftlichen Artikels, der in einer geeigneten Fachzeitschrift abgedruckt werden muss (eine elektronische Veröffentlichung ist nach den internationalen Regeln der zoologischen Nomenklatur nur gültig, wenn mindestens fünf Kopien in öffentlich zugänglichen, im Artikel ausgewiesenen Bibliotheken deponiert sind). Eine ausführliche Artbeschreibung sollte gute und verschiedene Dokumentationstechniken nutzen, was leider noch immer keine Selbstverständlichkeit ist. Stattdessen stellt der Mangel an Einheitlichkeit und Sorgfalt für die Taxonomie ein großes Problem dar. Die in der Artbeschreibung enthaltenen Informationen sollen

schließlich Biologen aus verschiedensten Fachrichtungen (Ökologie, Taxonomie, Morphologie, Phylogenie) als Referenz dienen, weshalb immer wieder der Versuch einer Standardisierung vorgenommen wird. Was inhaltlich in eine gute Artbeschreibung gehört, ist sicherlich von Taxon zu Taxon verschieden. Rein formal sollte sie eine kurze Inhaltsangabe (Abstract), eine Einleitung, einen Material- und Methodenteil, die Beschreibung selbst, eine Zusammenfassung, gegebenenfalls eine Danksagung und zuletzt einige Literaturhinweise beinhalten. Dem Beschreibungsteil, das heißt der bildlichen und sprachlichen Dokumentation der morphologischen Merkmale, ist dabei sicherlich ein besonderer Wert beizumessen. Nach Mayr (1975) liefert die Beschreibung an sich eine mehr oder weniger vollständige, sachliche Aussage über die Merkmale eines Taxons. Sie sollte allerdings nicht nur bereits bekannte diagnostische Merkmale aufführen, sondern auch solche, die für eventuell neue Arten von Bedeutung sein könnten.

Der bildliche Teil kommt oftmals zu kurz, obwohl gerade dieser speziell bei mikroskopisch kleinen Organismen besonders wichtig und informativ ist. Im Falle der Rädertiere sollte der Habitus einer neuen Art bestenfalls zeichnerisch (Abb. 3a, c, e) und lichtmikroskopisch (Abb. 4a, c, e) dargestellt werden. Eine REM-Aufnahme des ganzen Tieres (Abb. 5a, c, e) ist ebenfalls sehr hilfreich, da oftmals nur so Details wie Rumpffalten, der Aufbau des Räderorgans oder die Lage der Dorsal-, Lateral- und eventuell Caudaltaster erkennbar sind. Die zur Bestimmung wichtigen Trophi sollten idealerweise in einer detaillierten Zeichnung (Abb. 3b, d, f) erfasst und mithilfe von REM-Fotos (Abb. 5b, d, f) dokumentiert werden.

Bedauerlicherweise beinhalten auch heute noch viele Neubeschreibungen lediglich eine Habituszeichnung und REM-Aufnahmen der Trophielemente (siehe z.B. De Smet und Verolet, 2009). Der Beschreibungsteil sollte ebenfalls Angaben über die Etymologie (Erläuterung zum gewählten Namen), das Typenmaterial (Fundort und -datum) sowie eine Diagnose (eventuell auch Differentialdiagnose) sowie einige Aspekte zur Verbreitung und Biologie enthalten. Die eher knapp gehaltene Diagnose sollte eine kurze Angabe der wichtigsten Merkmale oder Merkmalskombinationen liefern, die ausschließlich für das beschriebene Taxon kennzeichnend sind. In der Differentialdiag-

nose werden diese Merkmale in einem direkten Vergleich anderen, nah verwandten Arten gegenüber gestellt.

### Danksagung

Ich danke meinem Kollegen Claus Fischer für die Zurverfügungstellung des Bildmaterials von *Cephalodella unglata*.

### Literaturhinweise

- De Smet, W. H., Verolet, M.: On two new species of *Proales* from France, with reallocation of *Dicranophorus liepolti* Donner, 1964 and *D. secretus* Donner, 1951 (Rotifera, Monogononta). *Zoosystema* 31, 959–973 (2009).
- Fischer, C., Ahlrichs, W. H.: *Cephalodella unglata* n.sp. (Monogononta: Notommatidae), a new rotifer species from North-West Germany, with notes on *C. tenuiseta* (Burn, 1890). *Zootaxa* 1378, 49–59 (2006).
- Koste, W.: Rotatoria. Die Rädertiere Mitteleuropas. Ein Bestimmungswerk, begründet von Max Voigt. Überordnung Monogononta. 2. Auflage. I. Textband, II. Tafelband. Gebrüder Borntraeger, Stuttgart 1978.
- Mayr, E.: Grundlagen der zoologischen Systematik. Paul Parey, Berlin 1975.
- Segers, H.: Annotated checklist of the rotifers (Phylum Rotifera), with notes on nomenclature, taxonomy and distribution. *Zootaxa* 1564, 1–104 (2007).
- Wilts, E. F., Bininda-Emonds, O. R. P., Ahlrichs, W. H.: Comparison of the predatory rotifers *Pleurotrocha petromyzon* (Ehrenberg, 1830) and *Pleurotrocha sigmoidea* Skorikov, 1896 (Rotifera: Monogononta: Notommatidae) based on light and electron microscopic observations. *Zootaxa* 2130, 1–20 (2009).
- Wilts, E. F., Ahlrichs, W. H.: *Proales tillyensis* sp.n. (Monogononta: Proalidae), a new rotifer species from North-West Germany, with reconstruction of its somatic musculature. *Invertebr. Zool.* 7, 29–46 (2010).
- Wilts, E. F., Martínez Arbizu, P., Ahlrichs, W. H.: Description of *Bryceella perpusilla* n.sp. (Monogononta: Proalidae), a new rotifer species from terrestrial mosses, with notes on the ground plan of *Bryceella* Remane, 1929. *Int. Review Hydrobiol.* 95, 471–481 (2010).
- Wilts, E. F., Wulfken, D.: Zur Formenvielfalt der Kieferhartelemente (Trophi) bei Rädertieren (Rotifera). *Mikrokosmos* 100, 4–12 (2011).
- Winston, J. E.: Describing species. Columbia University Press. New York 1999.

Verfasser: Eike F. Wilts,  
Systematik und Evolutionsbiologie,  
Institut für Biologie und Umweltwissenschaften,  
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg,  
26111 Oldenburg,  
E-Mail: eike.f.wilts@mail.uni-oldenburg.de

## Mikro-Galerie

# Mikroskopische Objekte – Einmal anders

Rudolf Drews

**Beschäftigung, die nie ermattet, die langsam schafft, doch nie zerstört, die zu dem Bau der Ewigkeiten zwar Sandkorn nur für Sandkorn reicht, doch von der großen Schuld der Zeiten Minuten, Tage, Jahre streicht.**

(F. Schiller: *Die Ideale*)

**S**o etwa könnte man die Tätigkeit umreißen, welche die hier abgebildeten Ornamente hervorbringt, nur dass die Sandkörner hier Skelettelemente von Kieselalgen, Radiolarien und anderem sind. Die Anregung hierzu gaben – unschwer zu erraten – Präparate kunstvoll gelegter Kieselalgen. Warum sollte man so etwas nicht einmal selbst probieren, und zwar mit anderer Technik, virtuell, gleichsam als Attrappe oder Fälschung. Aber letztlich ist eine Fotografie eines entsprechenden Mikropräparates auch nichts anderes.

Zu den Bildern gäbe es nun eigentlich nichts Weiteres zu sagen. Aber jemand könnte ja die Frage stellen: Wie macht man so etwas? Daher seien die Arbeitsschritte hier genannt. Vorbedingungen sind außer Motivation und genügend Zeit das Vorhandensein eines oder mehrerer Kieselalgenpräparate, eines Mikroskops mit einer adaptierten Digitalkamera und eines Computers mit einem Bildbearbeitungsprogramm (z.B. Photoimpact 10). Zunächst werden mit dem 10x- oder 16x-Objektiv von verschiedenen Skeletten Dunkelfeldaufnahmen gefertigt (Dunkelfeldkondensor oder falsche Phasenblende). Nach Übertragung der Fotos auf den Computer werden diese insbesondere

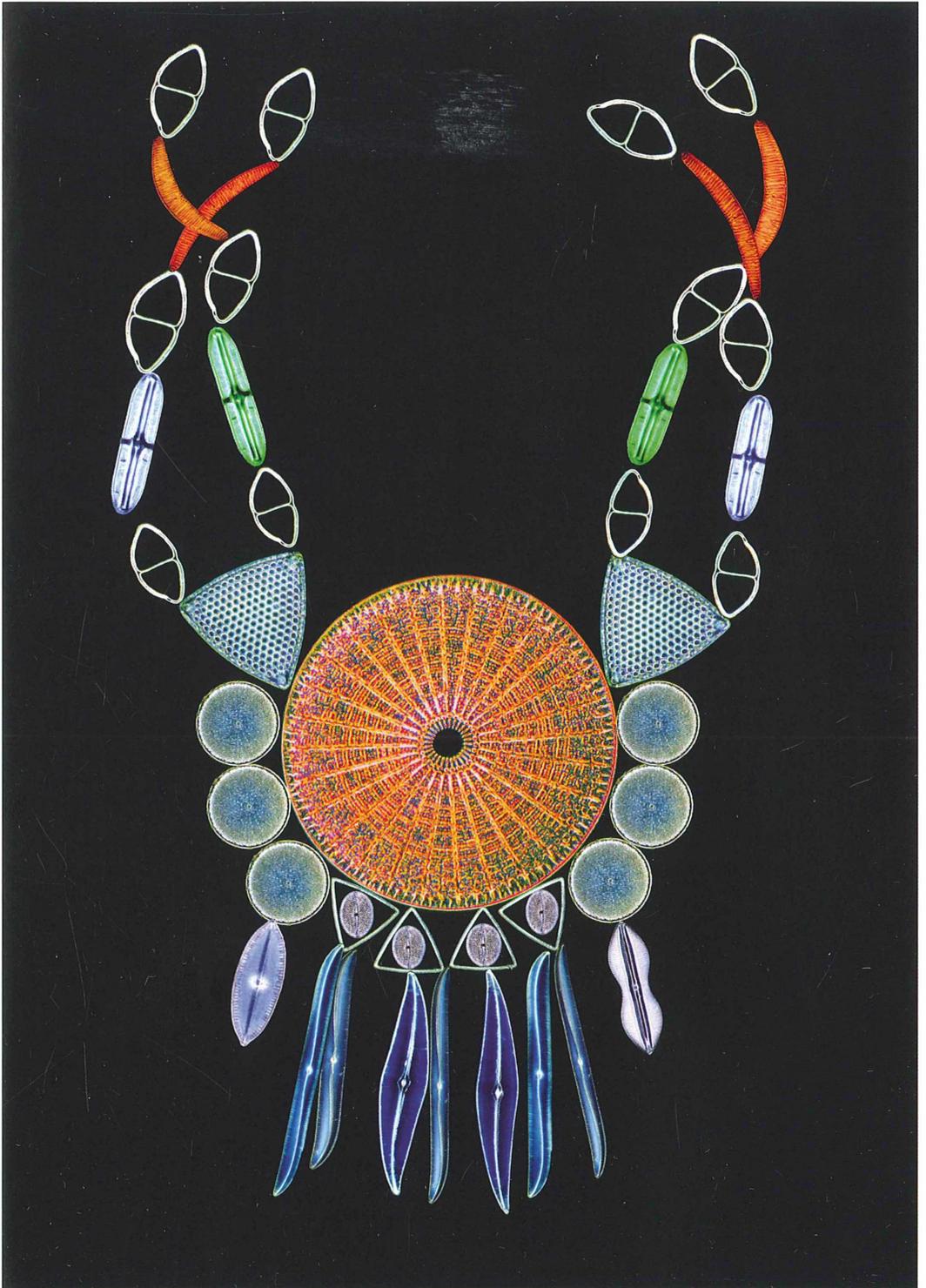
hinsichtlich des Kontrasts optimiert. Anschließend wählt man mit dem Auswahlwerkzeug (Lasso, Zauberstab) einzelne Skelette aus, wandelt sie in Objekte um und archiviert diese zur späteren Verwendung. Danach beginnt die eigentliche kreative Arbeit: Die Anordnung ausgewählter Objekte zu Mustern und andere Arrangements. Zuvor legt man ein neues Bild an (am besten zunächst mit schwarzem Hintergrund), in welches man die Objekte aus dem Archiv mit der Maus hinüberzieht. Da sich Objekte in Größe, Lage, Gestalt, Farbe und Kontrast verändern lassen, kann man der Fantasie in der Bildgestaltung freien Lauf lassen.

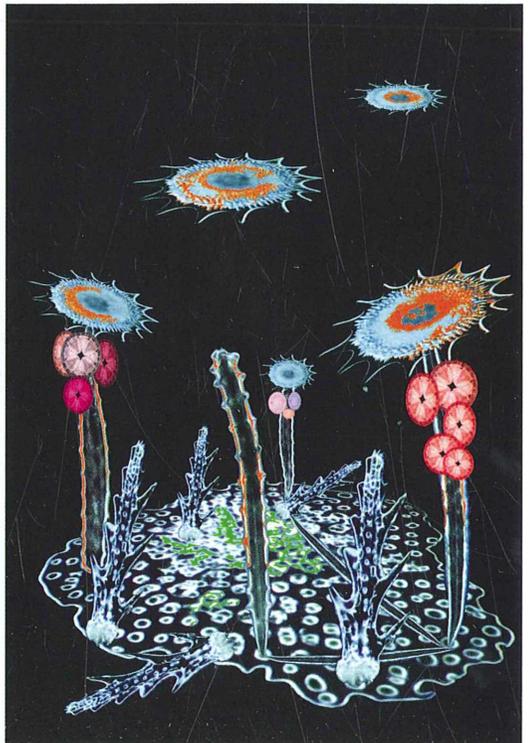
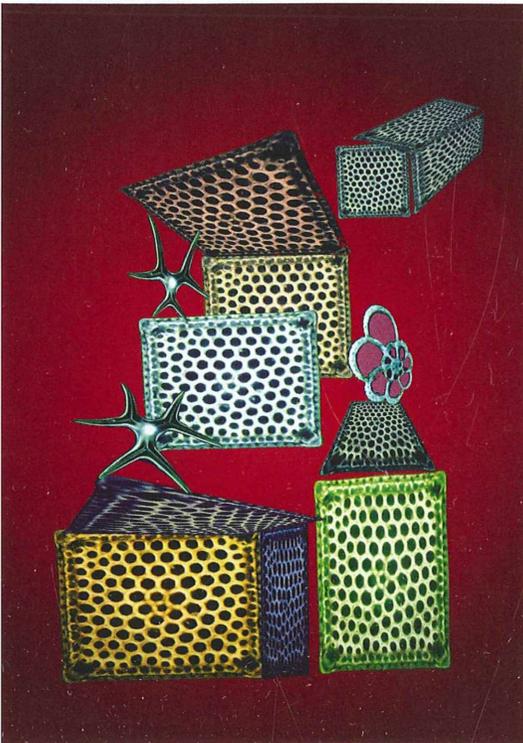
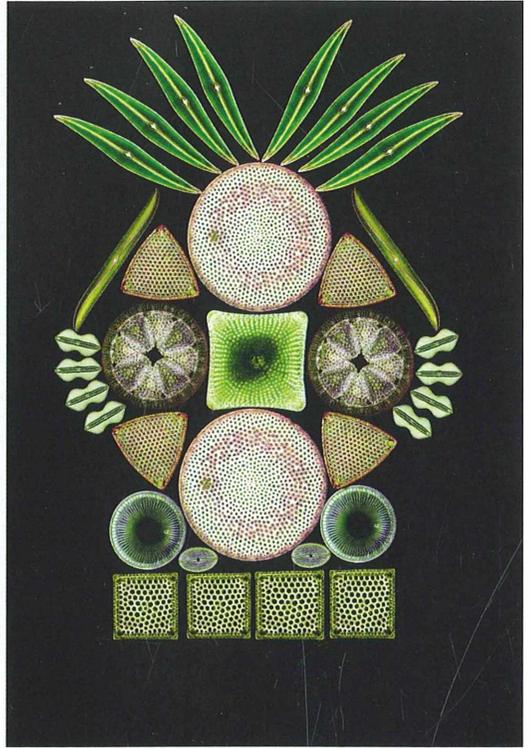
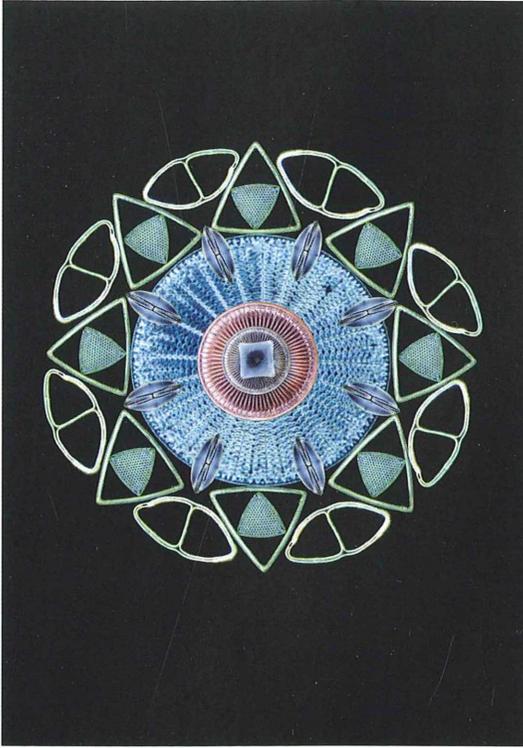
Das Ergebnis ist ein Ausdruck einer zwar langwierigen, aber anregenden und spielerischen Tätigkeit, welche graue Winterstunden wie im Fluge verstreichen lässt.

### Literaturhinweis

Birke, R.: Bild-Composing mit Mikroorganismen. *Mikrokosmos* 97, 340 (2008).

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





Computergenerierte Formenkompositionen.

# Färbungen für paläontologische Objekte in Dünnschliffen

Holger Schimmel

Steine färben? Das klingt zunächst sonderbar. Wer aber beim Anfertigen von Dünnschliffen durch Sedimentgesteine erlebt hat, wie sich ein kräftig gefärbtes Gestein, in dem mit bloßem Auge fossile Überreste von Pflanzen oder Tieren zu erkennen sind, schließlich in ein reichlich blasses Plättchen verwandelt, wird sich dann doch gelegentlich eine einfache Methode zur Kontrastverstärkung wünschen. In der mikropaläontologischen Literatur wurde empfohlen, fossilienhaltiges Gestein nicht unbedingt auf die übliche petrographische Standarddicke von 30 Mikrometern herunterzuschleifen, sondern dicker zu belassen. Daneben besteht jedoch – wie in der Histologie – die Möglichkeit zum Einsatz von Farbstoffen.

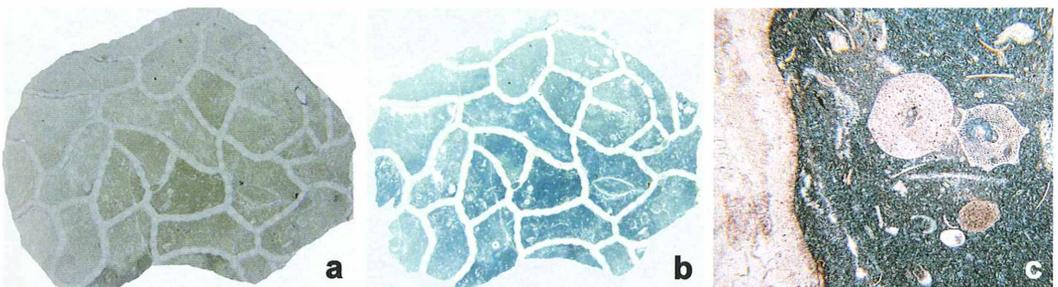
**G**rundsätzlich können die Dünnschliff-färbungen in chemische und mineralogische Färbungen unterteilt werden. Erstere sind der chemischen Analytik entlehnt, und als Färbemittel dienen hierbei Reagenzien, die mit bestimmten Ionen aus dem Gestein reagieren und farbige Niederschläge bilden. Meist muss der Schliff hierbei mit aggressiven Chemikalien behandelt werden, um diese Ionen freizusetzen. Die zweite Gruppe von Färbungen beruht auf Reaktionen der Färbereagenzien mit bestimmten Mineralphasen, wobei deren exakte chemische Zusammensetzung weniger bedeutsam ist.

## Das einfachste Verfahren

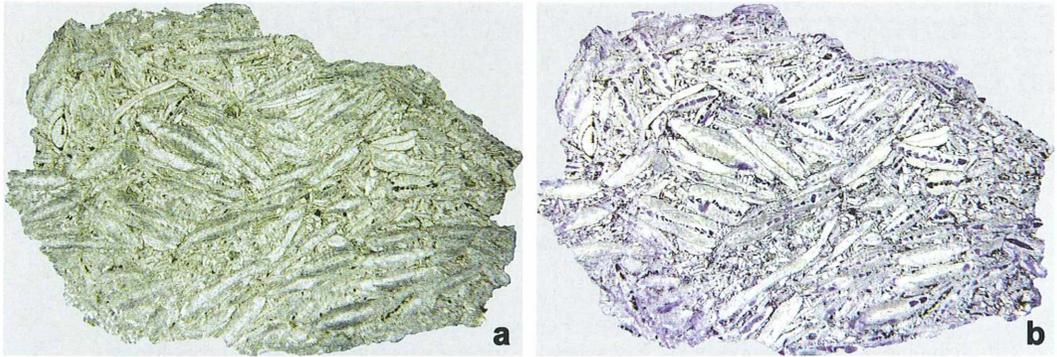
Wenn etwa in der Gesteinsmatrix tonige Bestandteile vorhanden sind, die Fossilien hingegen aus vergleichsweise reinem Calciumcarbo-

nat bestehen, kann man sich die Tatsache zunutze machen, dass positiv geladene Farbstoffmoleküle sehr stark an die negativ geladenen Oberflächen der Tonminerale in der Matrix adsorbieren, von karbonatischen oder anderen silikatischen Oberflächen hingegen kaum festgehalten werden. Im Ergebnis resultiert eine Negativfärbung, das heißt, die Färbung der Matrix wird vertieft, während die Fossilien ungefärbt bleiben (Abb. 1–4). Natürlich dringt eine derartige Farbstofflösung auch in jeden Bruch oder sonstigen Hohlraum in einem Schliff ein, kann aber von dort durch gründliches Auswaschen meist entfernt werden. Die Bindung an die Tonminerale dagegen wird dadurch nicht mehr beeinflusst.

Die Malachitgrün-Färbung nach Henbest (1931) gehört zu diesem Typ. Aufgrund seiner Giftigkeit ist Malachitgrün (C.I.-Nr. 42000) allerdings in Deutschland für Privatpersonen



**Abb. 1:** Großschliff durch eine silurische Kettenkoralle der Gattung *Catenipora* (Gotland, Schweden). **a** und **b** Makroaufnahmen, **c** mikroskopisches Detail; **a** ungefärbt, **b** und **c** mit Brillantgrün gefärbt. Die calcitisch erhaltenen, palisadenförmig angeordneten Korallen bilden eine nach oben offene Falle für Feinsediment, in welchem sich nach Färbung kleinere, ungefärbte Fossilpartikel (meist Skelettelemente von Echinodermen) erkennen lassen. Größter Durchmesser des Schliffs 3,8 cm.

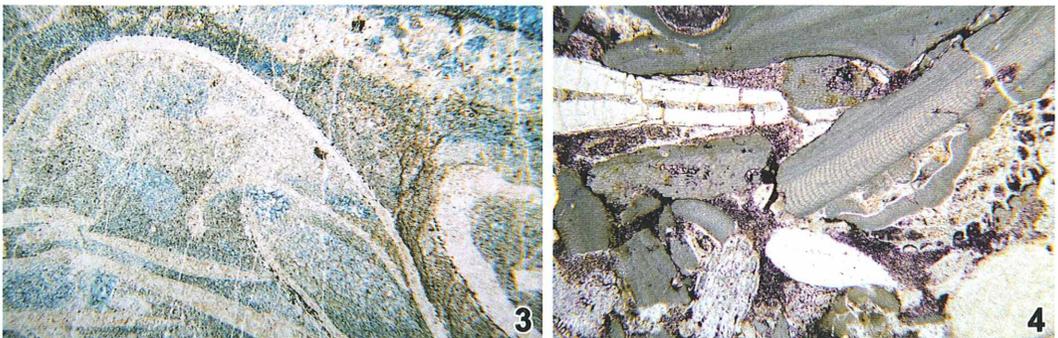


**Abb. 2:** Großschliff durch Adelholzener Kalk (Pinswang, Oberbayern). Makroaufnahmen; **a** ungefärbt, **b** mit Gentianaviolett gefärbt. Das Gestein besteht fast ausschließlich aus den Gehäusen von Großforaminiferen (Assilinen), deren Hohlräume mit tonigem Sediment gefüllt sind und deshalb den Farbstoff gut annehmen. Größter Durchmesser des Schliffs 3,5 cm.

leider kaum mehr erhältlich. Da die Selektivität aber hauptsächlich auf der positiven Ladung des Farbstoffmoleküls beruht, können auch strukturell ähnliche Verbindungen aus der Gruppe der basischen Triphenylmethanfarbstoffe – etwa Brillantgrün (C.I.-Nr. 42040) oder Gentianaviolett B (C.I.-Nr. 42535) – verwendet werden. Auch Methylenblau soll geeignet sein (Tucker, 1996). Das Originalprotokoll verwendet 0,03–0,05%ige wässrige Lösungen von Malachitgrün, die über zwei bis drei Tage einwirken sollen, wobei die optimale Färbedauer für den jeweiligen Gesteinstyp durch Versuche zu ermitteln ist. Nach eigenen Versuchen mit Brillantgrün oder Gentianaviolett ist auch bei Verwendung höher konzentrierter Lösungen (bis zu 0,5%) keine Überfärbung zu befürchten. Während der – in jedem Fall mehrstündigen – Einwirkungszeit bilden sich jedoch mitunter Niederschläge auf den Schliffen, die

vor der Weiterverarbeitung durch längeres Auswaschen und gegebenenfalls Abwischen mit Küchenkrepp entfernt werden müssen. Die Schliffe werden anschließend an der Luft getrocknet.

Um die Haltbarkeit der Färbung zu erhöhen, empfiehlt Henbest (1931) die Anwendung von Hitze. Nach den Erfahrungen des Autors erweist sich jedoch die Fixierung mit einer Schwermetallbeize als vorteilhaft. Allerdings sind die in der Literatur (Schömmner, 1948) genannten Beizen Phosphorwolframsäure und Phosphormolybdänsäure für Dünnschliffe ungeeignet, da sie stark sauer reagieren. Auch das alternativ vorgeschlagene und gut fixierend wirkende Ammoniumheptamolybdat (Romeis, 1968) kann noch in 1%iger Lösung einen karbonatischen Dünnschliff in wenigen Stunden weitgehend auflösen, so dass die Einwirkungs-dauer auf maximal 30 Minuten beschränkt wer-



**Abb. 3:** Schillkalk mit Muschelschalen (Isargeröll), gefärbt mit Brillantgrün. – **Abb. 4:** Lithothamnienkalk (Isargeröll), gefärbt mit Gentianaviolett. Der fast ausschließlich aus calcitischen Bioklasten (Kalkalgen, Foraminiferen, Bryozoen, Echinodermen) bestehende Kalkstein enthält nur in den Zwickeln etwas tonige Matrix, welche den Farbstoff aufnehmen kann. Der Kontrast bleibt insgesamt eher schwach.

den sollte. Wässrige Lösungen von Natrium-molybdat ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ) oder Natriumwolframat ( $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ) in Konzentrationen von 1–5%, die man über Nacht einwirken lässt und danach durch Einstellen in Leitungswasser gründlich ausspült, haben diese zerstörerische Wirkung nicht. Allerdings ist auch ihr fixierender Effekt vergleichsweise unsicher. Ohne Fixierung verblassen die Farben nach dem Einschluss meist in kurzer Zeit oder bluten aus dem Schliff aus. Nach dem Ausspülen der Fixierlösung wird der Schliff an der Luft getrocknet, kurz in Xylol getaucht (wobei sich eventuell noch oberflächlich vorhandener, überschüssiger Farbstoff löst) und in Kanadabalsam eingeschlossen.

### „Hämatoxylin-Eosin“ für Sedimentologen

Die wichtigste chemische Färbemethode dürfte die Doppelfärbung mit Alizarinrot S und rotem Blutlaugensalz sein. In den Atlaswerken über Sedimentgesteine (Adams et al., 1986; Adams und

MacKenzie, 1998) findet man bei den karbonatischen Gesteinen kaum einen Schliff, der nicht mit diesem Reagenz gefärbt wurde. Alizarinrot S färbt säurelösliche Calciumquellen (hauptsächlich Calcit und Aragonit), rotes Blutlaugensalz die säurelöslichen eisen(II)haltigen Mineralien der Probe. Je nach Verteilung der entsprechenden Verbindungen ergeben sich im fertigen Präparat Farben von reinem Rot über verschiedene Violett-Töne bis zu tiefem Preußischblau (Abb. 5 und 6). Silikatische Mineralien und Dolomit bleiben ungefärbt. Die Färbungen sind ohne weitere Fixierung im Dauerpräparat haltbar.

Die Standardvorschrift lautet: Es werden jeweils eine 0,2%ige Lösung von Alizarinrot S und eine 2%ige Lösung von rotem Blutlaugensalz in 1/8-normaler Salzsäure getrennt voneinander angesetzt. Durch Mischen der Stammlösungen im Verhältnis 3:2 wird das Färbereagenz bereitet, in das der Schliff für 40–60 Sekunden eingetaucht wird. Anschließend wird mit mehrfach zu wechselndem destilliertem (!) Wasser die Säure ausgespült, der Schliff an der Luft

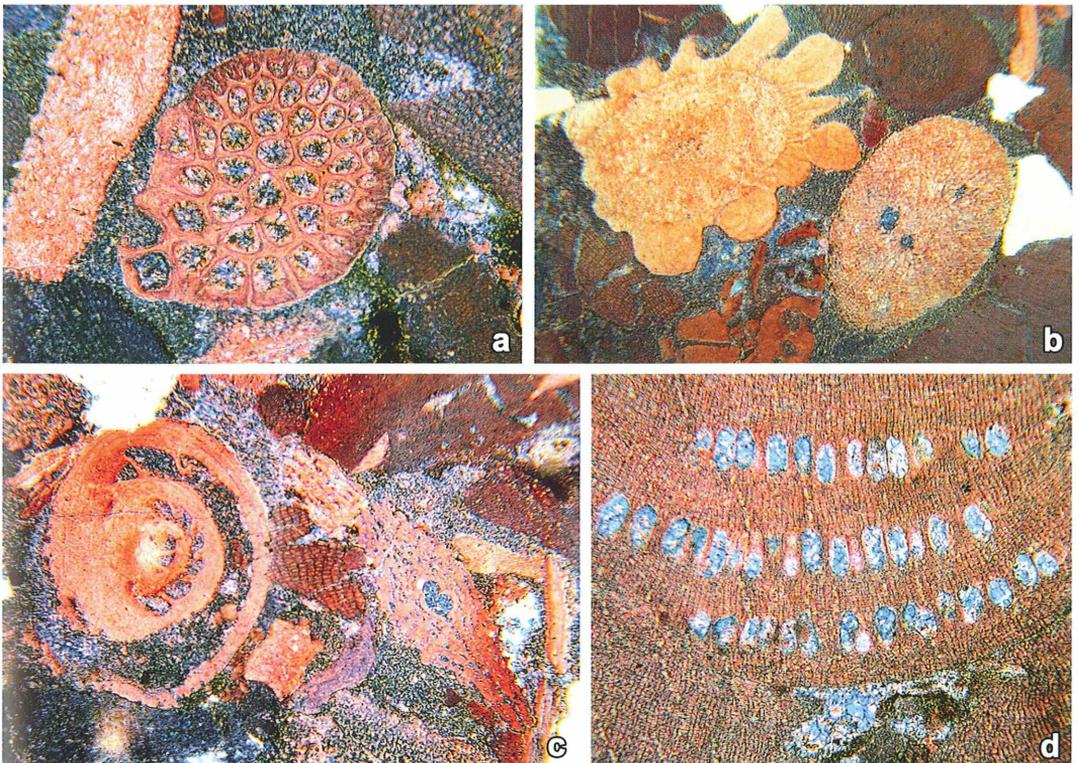


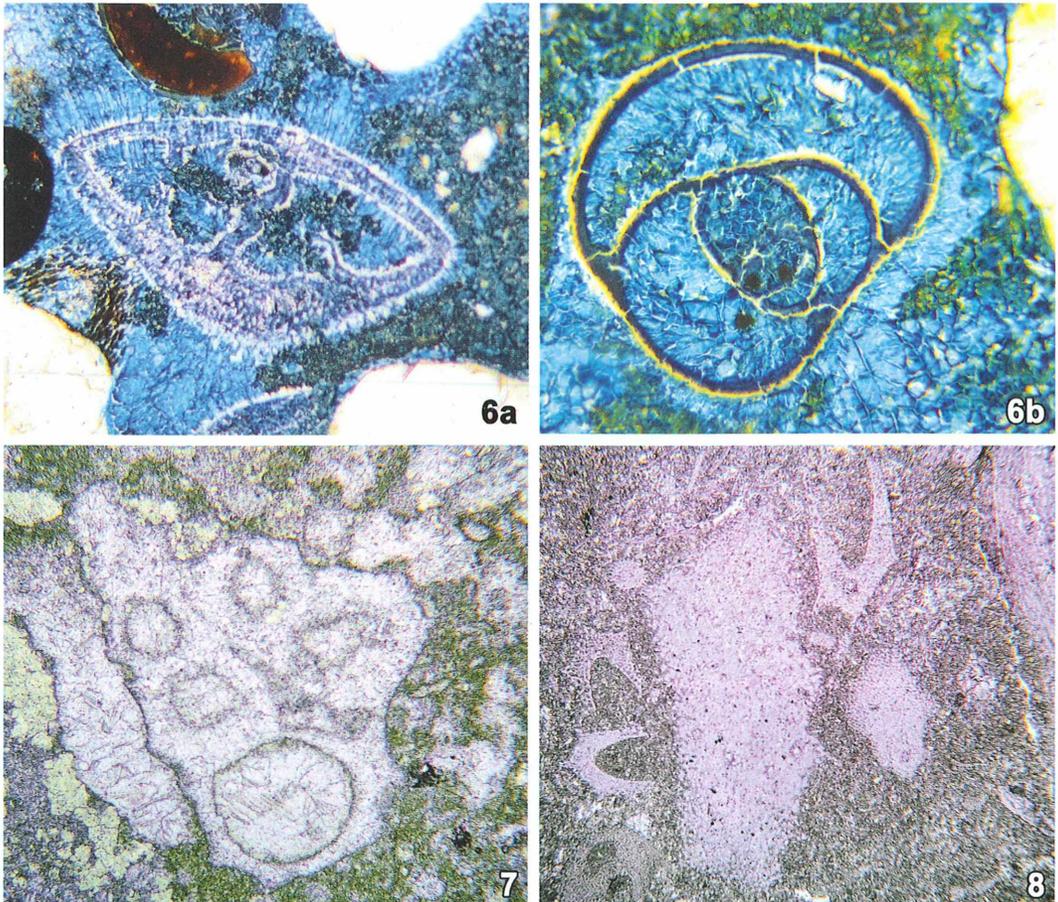
Abb. 5: Gleiches Gestein wie in Abbildung 4, gefärbt mit Alizarinrot S und rotem Blutlaugensalz. **a** Querschnitt durch einen Bryozoenstock, **b** zwei verschiedene Seeigelstacheln im Querschnitt, **c** zwei Großforaminiferen, **d** Schnitt durch einen Algenstock von *Lithothamnium* mit Konzeptakeln.

getrocknet, kurz in Xylol getaucht und in Kanadabalsam eingeschlossen. Da die gefärbte Schicht nur einen empfindlichen, dünnen Überzug auf dem Schliff bildet, sollte jede Berührung der Oberfläche nach dem Färbevorgang vermieden werden.

Das oben angegebene Färbeprotokoll wurde für petrographische Zwecke entwickelt; zur Kontrastierung von Mikrofossilien kann man je nach den individuellen Eigenschaften der Probe hiervon abweichen, indem man etwa die Lösungen stärker verdünnt (Füchtbauer und Richter, 1988)

oder statt mit dem üblichen Gemisch mit den Einzelkomponenten färbt. In einem Punkt sollte man allerdings immer abweichend vorgehen: Die Lösungen sollten frisch angesetzt und nicht lange aufbewahrt werden. Rotes Blutlaugensalz zersetzt sich in saurer Lösung innerhalb weniger Stunden, aber auch die Alizarinrot-Lösung büßt nach den Erfahrungen des Autors mit der Zeit (Wochen) an Färbekraft ein.

Ein anderer kritischer Parameter bei diesem Verfahren ist die Konzentration der Säure in der Farblösung. Der in einigen Literaturquellen



**Abb. 6:** Alveolinenquarzit (Neubeuern, Oberbayern), gefärbt mit Alizarinrot S und rotem Blutlaugensalz. **a** und **b** Gehäuse von Kleinforaminiferen. In diesem Gestein ist die Matrix so stark eisenhaltig, dass der Alizarinrot-Anteil der Färbung fast überhaupt nicht zu bemerken ist; lediglich die Gehäuse der Organismen zeigen einen violetten Farbton, der Rest ist tiefblau. Die hellen Bereiche am Rand von **a** sind Quarzkörner – **Abb. 7:** Wettersteinkalk (Isargeröll), gefärbt mit Hämatoxylin. Das Schneckengehäuse im Zentrum des Bildes ist bereits stark rekristallisiert, besteht jedoch noch weitgehend aus Calcit (blassviolett). Die Matrix (grau) sowie ein Teilbereich an der Spitze der Schnecke (weiß) sind in Dolomit umgewandelt. – **Abb. 8:** Silurische Kettenkoralle *Catenipora* mit Echinodermenschutt in den Zwischenräumen (Gotland, Schweden), gefärbt mit Hämatoxylin. Das Material entspricht dem aus Abbildung 1c; die Färbung hat hier jedoch nicht zu einer vergleichbaren Kontrastierung zwischen Fossilien und Matrix geführt.

genannte Wert von 1,5% ist – wenn man wie üblich in Gewichtsprozenten rechnet – viel zu hoch und führt unweigerlich zur Zerstörung des Schliffes. Die hier angegebene Konzentration von 1/8 N ( $\approx$  0,46 Gewichtsprozent) lässt sich durch Verdünnen von im Chemikalienhandel erhältlichlicher 1 N Salzsäure auf achtfaches Volumen problemlos einstellen.

### Ein (zweifelhafter) Klassiker

Wurde die obige Kombinationsfärbung etwas ironisch als „Hämatoxylin-Eosin“ bezeichnet, so ist es überraschenderweise tatsächlich möglich, Dünnschliffe mit Hämatoxylin zu färben. Allerdings sind die aus der Histologie bekannten Hämalaune ungeeignet, da sie unschöne Niederschläge von Calciumsulfat auf den Schliffen erzeugen. Eine für petrographische Zwecke geeignete Zubereitung (Henbest, 1931) erhält man, indem 2,5 g Hämatoxylin und 16,7 g Aluminiumchlorid in 250 ml destilliertem Wasser gelöst und zum Sieden erhitzt werden. Nach Abkühlen gibt man zur Reifung noch 0,25 g Kaliumiodat zu und filtriert. Diese Stammlösung wird zur Färbung im Verhältnis 1:1 bis 1:5 mit destilliertem Wasser verdünnt. Hämatoxylin färbt rasch und intensiv, und die Lösung reagiert sauer, so dass die Einwirkungs-dauer kurz gehalten werden sollte. Nach 1–5 Minuten (bei den stärker konzentrierten Lösungen mitunter schon nach 15 Sekunden!) ist normalerweise eine ausreichende Farbtiefe erreicht. Eine Überfärbung ist nicht mehr zu korrigieren, und die differenzierende Wirkung des Farbstoffs ist nur sehr schwach ausgeprägt. Am ehesten ist das Verfahren bei dolomitisierten Kalksteinen zu gebrauchen (Abb. 7), da nur Calcit gefärbt wird, Dolomit aber farblos bleibt. Reine Kalksteine nehmen dagegen sehr rasch einen einheitlichen Farbton an (Abb. 8), der bei der Betrachtung eher störend wirkt.

### Weitere Verfahren

In der Literatur finden sich noch zahlreiche andere Färbemethoden für Dünnschliffe (Friedman, 1971; Füchtbauer und Richter, 1988; Tucker, 1996), die jedoch mehr der Identifikation bestimmter Mineralphasen dienen und technisch meist deutlich aufwändiger sind als die genannten Verfahren. Sie sollen daher hier nicht weiter besprochen werden.

### Schlussbemerkungen

Friedman (1971) schreibt über die Färbung von Dünnschliffen: *Obwohl die Färbetechniken einfach sind, muss der Anfänger doch jede erlernen und ein Gefühl dafür entwickeln. Wer exzellente Ergebnisse beim ersten Versuch erwartet, wird oft enttäuscht werden* (Übersetzung aus dem Englischen). Dieser Äußerung ist nicht viel hinzuzufügen, auch wenn dies in der Praxis bedeutet, dass man mitunter einige mühsam hergestellte Schliffe für Versuchszwecke opfern muss. So versagen etwa die Triphenylmethanfarbstoffe bei sehr reinen, tonarmen Kalksteinen. Mit Alizarinrot S und rotem Blutlaugensalz ist hingegen die Farbverteilung nicht unbedingt vorhersehbar: Manche Schliffe entwickeln schöne Rot-Blau-Kontraste, andere „ertrinken“ in einem einheitlichen Violett. Dieselbe Gefahr besteht bei Überfärbung mit Hämatoxylin. Am Ende wird man festhalten müssen, dass ein universell verwendbares Färbeverfahren für alle Proben beziehungsweise Gesteinsarten nicht existiert. Auf der anderen Seite mag gerade dieser Mangel den Amateur zum Experimentieren anregen.

Bei allen Arbeiten mit Chemikalien sind die üblichen Vorsichts- und Schutzmaßnahmen (Schutzbrille, Handschuhe, Kittel) zu ergreifen.

### Literaturhinweise

- Adams, A. E., MacKenzie, W. S., Guilford, C.: Atlas der Sedimentgesteine in Dünnschliffen. Enke Verlag, Stuttgart 1986.
- Adams, A. E., MacKenzie, W. S.: A colour atlas of carbonate sediments and rocks under the microscope. Manson Publishing, London 1998.
- Friedman, G.: Staining. In: Carver, R. (Ed.): Procedures in sedimentary petrology. Wiley-Interscience, New York 1971.
- Füchtbauer, H., Richter, D.: Karbonatgesteine. In: Füchtbauer, H. (Hrsg.): Sedimente und Sedimentgesteine. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1988.
- Henbest, L. G.: The use of selective stains in paleontology. *J. Paleontology* 5, 335–346 (1931).
- Romeis, B.: Mikroskopische Technik, 16. Auflage, Oldenbourg Verlag, München 1968.
- Schömmel, E.: Kryptogamen-Praktikum. Franckh-Kosmos Verlags-GmbH, Stuttgart 1948.
- Tucker, M.: Methoden der Sedimentologie. Enke Verlag, Stuttgart 1996.

## Nachricht

### Winzige Kräfte im Blut bestimmen Strömungswiderstand

Rote Blutkörperchen ziehen einander an, aber die Kräfte, die dabei wirken, sind winzig. Verglichen mit der Kraft, die durch das Gewicht einer sitzenden Stechmücke verursacht wird, sind sie etwa zehn Millionen Mal kleiner. Dennoch bestimmen diese Kräfte den Strömungswiderstand von Blut, wie ein deutsch-amerikanisches Team von Physikern erstmals zeigen konnte. Die Wissenschaftler des Forschungszentrums Jülich und zweier US-amerikanischer Forschungseinrichtungen stellen diese und weitere Ergebnisse ihrer Berechnungen der physikalischen Eigenschaften von Blut in einer aktuellen Ausgabe der Fachzeitschrift „PNAS“ (Proceedings of the National Academy of Sciences) vor.

Kaum vorstellbar klein ist die Anziehungskraft, die rote Blutkörperchen aufeinander ausüben: Einen Wert von gerade einmal drei bis sieben Pico-Newton (Billionstel Newton) errechnete ein Team um den Physiker Prof. Gerhard Gompper, Direktor am Jülicher Institute of Complex Systems. *Bisher gibt es keine Möglichkeiten, diese Anziehungskräfte experimentell zu messen*, erläutert der Experte für theoretische Physik und Simulation. *Deshalb haben wir die Eigenschaften von Blut im Computer nachgebaut. So konnten wir virtuelle Experimente durchführen, die in der Praxis gar nicht möglich wären. Das hilft, die physikalischen Zusammenhänge in Blut besser zu verstehen.* Computersimulationen könnten damit etwa zu einem besseren Verständnis der Symptome von Krankheiten beitragen oder bei der Entwicklung von Mikrofluidik-Systemen, etwa für diagnostische Zwecke.

Mit Hilfe ihrer Simulationen konnten die Forscher die Zusammenhänge zwischen der mikroskopischen Anordnung der roten Blutkörperchen und den Eigen-

schaften von Blut, wie dem Strömungswiderstand – der Viskosität – untersuchen. *Insbesondere führen Anziehungskräfte dazu, dass immer wieder zwei oder mehrere Blutkörperchen vorübergehend aneinander kleben bleiben (Abb. 1), anstatt aneinander vorbei zu gleiten – was gleichbedeutend mit einem erhöhten Strömungswiderstand ist*, erläutert Gompper. Die Forscher nutzen die so genannte Molekulardynamik, eine anerkannte Methode der theoretischen Physik, bei der Wechselwirkungen zwischen Molekülen über einen zeitlichen Verlauf simuliert werden. Da die dafür notwendige Rechenleistung enorm ist und an einem durchschnittlichen PC viele Monate gedauert hätte, rechneten die Forscher an Hochleistungscomputern, etwa dem Jülicher Supercomputer JUROPA.

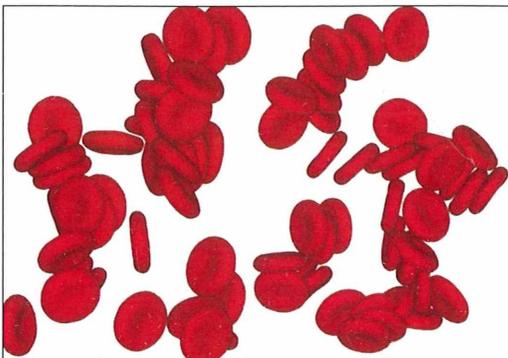
Die Basis der Rechnungen bildeten zwei Modellsysteme. In einem simpleren Modell wurden die einzelnen roten Blutkörperchen durch einige wenige kugelförmige Teilchen repräsentiert, die mit Sprungfedern zu einem diskusförmigen Gebilde verbunden sind. Vergleiche mit Daten aus Experimenten zeigten, dass schon dieses relativ simple Modell die Viskosität von Blut sehr zuverlässig vorhersagt. Für die Simulation des Blutflusses durch sehr enge Gefäße jedoch war ein detailliertes Modell notwendig, das auch die Zellmembran der Blutkörperchen berücksichtigt, die biegsam ist und Verformungen ermöglicht. Das detaillierte Modell ermöglichte auch Untersuchungen von bestimmten Eigenschaften roter Blutkörperchen, etwa ihrer Deformierbarkeit und eben der Anziehungskräfte untereinander.

*Wir haben unsere Daten mit Daten aus Experimenten abgeglichen, soweit es diese gibt, und wissen deshalb, dass unsere Modelle gut funktionieren*, freut sich Gompper. *Wir planen deshalb, künftig damit auch die veränderten Eigenschaften zu untersuchen, die sich im Blut Kranker finden lassen. Diabetes beispielsweise verringert die Deformierbarkeit der roten Blutkörperchen. Dadurch erhöht sich der Strömungswiderstand des Blutes und die Durchblutung verschlechtert sich. Hier können wir uns vorstellen, dass sich aus der routinemäßigen Untersuchung der Eigenschaften einzelner roter Blutkörperchen diagnostische Vorhersagen für Durchblutungsstörungen ergeben.*

#### Literaturhinweis

Fedosov, D. A., Pan, W., Caswell, B., Gompper, G., Karniadakis, G. E.: Predicting human blood viscosity in silico. PNAS Early Edition; Published online before print July 5, 2011; doi: 10.1073/pnas.1101210108

Redaktion MIKROKOSMOS



**Abb. 1:** Rote Blutkörperchen (Erythrocyten) haben die Tendenz, vorübergehend miteinander zu verkleben. Dadurch werden die Strömungseigenschaften des Bluts beeinflusst (Foto: Forschungszentrum Jülich).

# Variabler Hell-Dunkelfeld-Kontrast (VHDK) – Eine alternative Technik zur Untersuchung komplex strukturierter transparenter Objekte

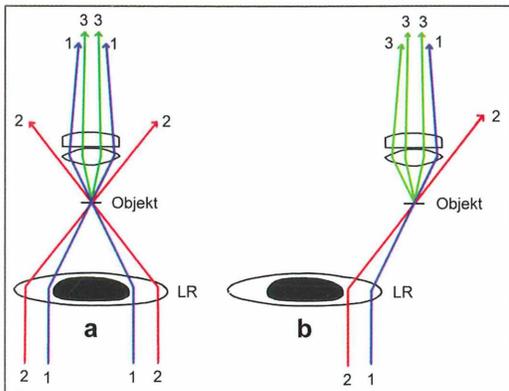
Timm Piper und Jörg Piper

Die Beobachtung und Fotodokumentation ungefärbter transparenter Objekte kann in üblichen Standardtechniken mit verschiedenen Problemen behaftet sein, wenn eine komplexe dreidimensionale Struktur vorliegt, die Schichtdicke relativ hoch ist und neben scharf abgrenzbaren Randkonturen feine und nur gering kontrastierte Innenstrukturen vorhanden sind (Davidson und Abramowitz, 2011). Solche Objekte, zum Beispiel Kristalle, Kristall-Abdrücke oder Gehäuse von Diatomeen und Foraminiferen, können flach und ausgestanzt erscheinen, wenn nur ihre Randkonturen im Hellfeld dunkel kontrastiert sind oder im Dunkelfeld hell aufleuchten, während feinere Details verlorengehen. Filigrane Innenstrukturen können bei Hellfeld-Beleuchtung unsichtbar bleiben, wenn sie einen zu geringen Eigenkontrast haben. Sie können auch einer Darstellung im konventionellen Dunkelfeld entgehen, wenn sie von den schräg einfallenden Beleuchtungsstrahlen nur gestreift werden oder gewissermaßen im „toten Winkel“ der einfallenden beleuchtenden Strahlenbündel liegen und auf Grund dessen für eine klare Bildgebung nicht hinreichend ausgeleuchtet werden.

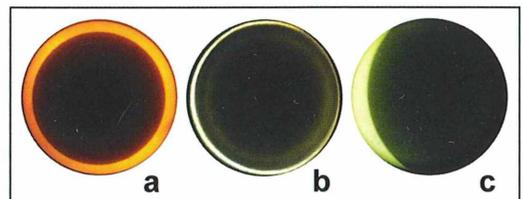
Eine visuelle Erfassung der räumlichen Architektur kann bei solchen Objekten im Hell- oder Dunkelfeld eingeschränkt sein. Weitere Nachteile des Dunkelfelds bestehen in typischen Überstrahlungen von Randkonturen

und einer geringen Tiefenschärfe infolge fehlender Abblendbarkeit des Kondensors. Phasenkontrast ist bei den beschriebenen Objekten wegen Halo-Artefakten meist nur eingeschränkt nutzbar und Interferenzkontrast liefert typischerweise optische Schnittbilder, welche zwar relativ frei von Unschärfe sind, jedoch die dreidimensionale Struktur des Objektes nur eingeschränkt erkennen lassen.

Vor dem Hintergrund dieser Problemstellungen soll ein variabler Hell-Dunkelfeld-Kontrast (VHDK) vorgestellt werden, der vom Erstautor entwickelt und praktisch erprobt wurde. Der Hell-Dunkelfeld-Kontrast kann die etablierten Techniken sinnvoll ergänzen und bei Problem-



**Abb. 1:** Strahlengang im konzentrischen (a) und exzentrischen (b) Variablen Hell-Dunkelfeld-Kontrast (VHDK); ohne Blendschieber, Kondensatorlinsen nicht eingezeichnet. 1 Durchleuchtende Strahlen der Innenzone (Hellfeldäquivalent), 2 beleuchtende Strahlen der Außenzone (Dunkelfeldäquivalent), 3 bildgebende, vom Objekt gebeugte und reflektierte Strahlen, LR Lichtring im Kondensator.



**Abb. 2:** Justierungen der Einstellungen aus Abbildung 1 bei Kontrolle durch eine Einstelllupe. Konzentrischer VHDK mit breiter, hellfelddominierter (a) und schmaler, dunkelfelddominierter (b) Innenzone; exzentrisches Hell-Dunkelfeld (c).

objekten der vorweg beschriebenen Art zu einer verbesserten Bildgebung beitragen.

### Prinzip des variablen Hell-Dunkelfeld-Kontrastes

VHDK kann technisch auf unterschiedliche Weise realisiert werden. In allen Ausführungsvarianten wird das Objekt im durchfallenden Licht simultan von zwei unterschiedlichen Strahlenkomponenten beleuchtet, welche ein Hell- und ein Dunkelfeldbild generieren. Diese beiden Teilbilder werden zu einem Summationsbild überlagert. Folgerichtig interferiert ein hellfeldanaloges, auf Absorption beruhendes Durchleuchtungsbild, welches auf dem 0. Beugungsmaximum basiert, mit einem dunkelfeldanaloges, auf Beugung und Streuung basierenden Reflexionsbild, in welchem das 0. Maximum ausgeblendet wird.

Bei geeigneter optischer Auslegung können die Intensitäten der Hell- und Dunkelfeldkomponenten unabhängig voneinander variiert werden, so dass der resultierende Gesamteindruck mehr einem Hellfeld- oder mehr einem Dunkelfeldbild entspricht. Zusätzlich kann zwischen konzentrischen (axialen, azimutalen) und schräg beleuchtenden Varianten gewechselt werden, wobei der Einfallswinkel bei Schrägbeleuchtung stufenlos variierbar ist. In allen Fällen kann der Charakter des Bildes durch Verstellen der Apererturblende verändert werden; eine Verringerung der Beleuchtungsapertur durch moderates Abblenden führt auch im VHDK zu Steigerungen von Tiefenschärfe und Kontrast und begünstigt eine Abschwächung gegebenenfalls vorhandener Überstrahlungen im Dunkelfeldbild.

### Konzentrischer Hell-Dunkelfeld-Kontrast

Bei dieser Ausführungsvariante wird ein Standard-Hellfeld-Objektiv zusammen mit einem

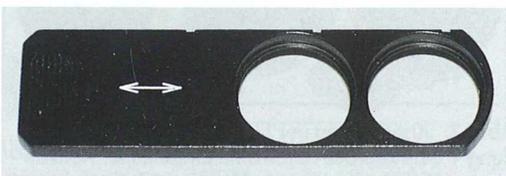


Abb. 3: Beleuchtungsschieber (Doppelblenden-schieber) für VHDK, weitere Erläuterungen im Text.

Universalkondensator eingesetzt, welcher analog zu einem Phasenkontrastkondensator konstruiert ist. Im Unterschied zum Phasenkontrast muss der verwendete Lichtring im Kondensator allerdings so dimensioniert sein, dass sich seine innere Zone in den äußeren Randbereich des Objektivquerschnitts projiziert und sein Außenbereich außerhalb des Objektivquerschnitts zu liegen kommt. Unter dieser Voraussetzung wird das Objekt von einem konzentrisch und achsgerichtet einfallenden Lichthohlkegel aus allen Raumrichtungen hellfeldähnlich vom Rand des Bildfeldes her durchleuchtet, und gleichzeitig ergibt sich eine dunkelfeldgemäße konzentrische Schrägbeleuchtung durch die sich nach außen anschließenden Anteile des Beleuchtungslichts (Strahlengangskizze in Abb. 1a). Um diesen Effekt mit kommerziell verfügbaren Komponenten zu erreichen, mussten diverse Objektive mit unterschiedlichen Innendurchmessern und mehrere Universalkondensoren mit unterschiedlich groß dimensionierten Phasenringen gegeneinander ausgetestet werden, wobei die jeweiligen Projektions- und Justierverhältnisse mit einer Einstelllupe für Phasenkontrastjustierung zu kontrollieren waren. Auf diese Weise konnten geeignete Objektiv-Phasenring-Kombinationen empirisch ermittelt und zusammengestellt werden.

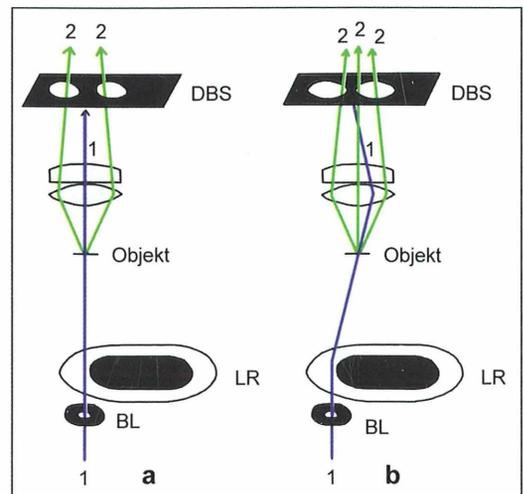
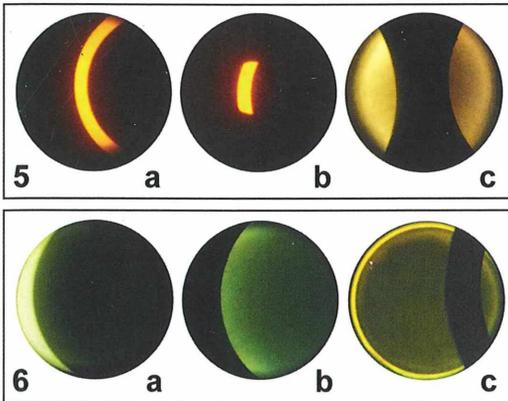


Abb. 4: Strahlengang im axialen (a) und exzentrischen (b) VHDK (mit Blendschieber, Kondensatorlinsen nicht eingezeichnet). 1 Beleuchtende Strahlen, 2 bildgebende, vom Objekt gebeugte und reflektierte Strahlen, BL Blende im Kondensator, DBS Doppelblendschieber, LR Lichtring im Kondensator.



**Abb. 5:** Justierungen für axiales Hell-Dunkelfeld gemäß Abbildung 4a, Kontrolle durch Einstelllupe. Mittige (äquatoriale) Justierung des Lichtringes (a), optionale Anpassung der Aperturblende (b), axiale beziehungsweise zentrische Justierung des Blendenschiebers (c). – **Abb. 6:** Justierungen für exzentrischen VHDK mit Blendenschieber, Kontrolle durch Einstelllupe, peripher-laterale Justierung des Lichtringes (a), Abdeckung mit bogig begrenztem Blendenschieber (b), selektive Schrägbeleuchtung der Hellfeld-Komponente bei konzentrisch justiertem Lichtring (c).

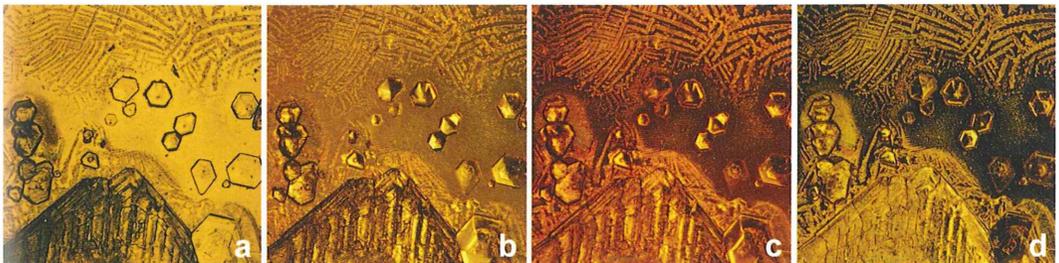
Bei Kontrolle durch eine Phasenkontrast-Einstelllupe erscheint unter den dargelegten Voraussetzungen das Beleuchtungslicht der Hellfeldkomponente als schmaler heller Randsaum in der äußeren Peripherie des Objektivquerschnitts. Der sich nach außen anschließende Anteil des Lichtdurchlasses, welcher das Dunkelfeldbild erzeugt, ist im Bild der Einstelllupe nicht sichtbar (Abb. 2a und b).

Der optisch wirksame Außendurchmesser des Lichtringes kann mittels Aperturblende bedarfsweise verringert werden; dies kann die Bildbeschaffenheit beeinflussen. Bei einer geringen Verengung der Aperturblende können

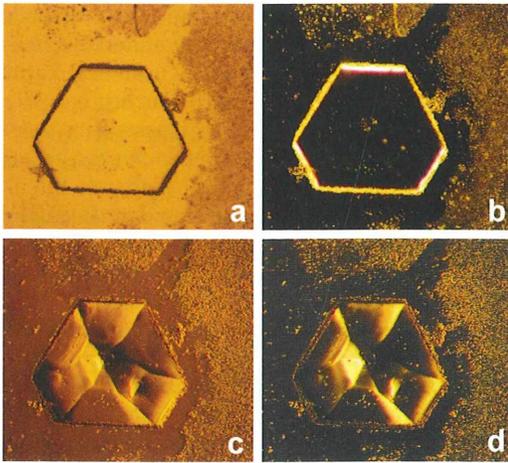
eventuell vorhandene, ohnehin nur schwach ausgeprägte Randüberstrahlungen noch weitergehend unterdrückt werden. Zusätzlich kann infolge der Verringerung der Beleuchtungsapertur die Tiefenschärfe moderat gesteigert werden. Bei einem noch weitergehenden Schließen der Aperturblende wird die verbleibende Intensität der Dunkelfeld generierenden Beleuchtungskomponente sichtbar geringer, so dass eine zunehmende Dominanz des Hellfeldbildes entsteht.

Das Verhältnis zwischen den Innendurchmessern von Objektiv und Kondensorlichtring bestimmt den Anteil der Hellfeldbeleuchtung. Je breiter die durchleuchtende Innenzone ist, desto mehr wird der Bilduntergrund aufgehell; je schmaler diese Zone bleibt, desto mehr dominiert der Dunkelfeldaspekt. Je nach Überlappung von Objektivquerschnitt und Kondensorlichtring können somit unterschiedliche Kontrastierungseffekte realisiert werden. Abbildung 2a zeigt beispielhaft die Justierung eines Lichtringes mit relativ breiter Innenzone, entsprechend einer relativen Hellfelddominanz. In Abbildung 2b sieht man eine analoge Anordnung bei größer dimensioniertem Lichtring mit schmalerer Innenzone, entsprechend einem dunkelfelddominierten Bild.

Die exakte Projektion des Lichtrings im Strahlengang und der hierdurch bestimmte Verlauf der beleuchtenden Strahlen kann durch Höhenverstellung des Kondensors und/oder durch Veränderung der Kondensorschnittweite variiert werden. Sofern das Objektiv als Spezialkonstruktion über eine integrierte Irisblende verfügt – es sich beispielsweise um ein abblendbares Dunkelfeldobjektiv handelt –, kann der optisch wirksame Objektivquerschnitt auch durch moderates Schließen der Objektivirisblende an die Lichtringgröße angepasst werden.



**Abb. 7:** Alaun-Kristallisation, Präparat ohne Deckglas, horizontale Feldweite (HFW) 2,0 mm, Objektiv 4x, Hellfeld (a); VHDK mit Blendenschieber, relative Hellfelddominanz (b); relative Dunkelfelddominanz (c), axiales Dunkelfeld mit Blendenschieber (d).



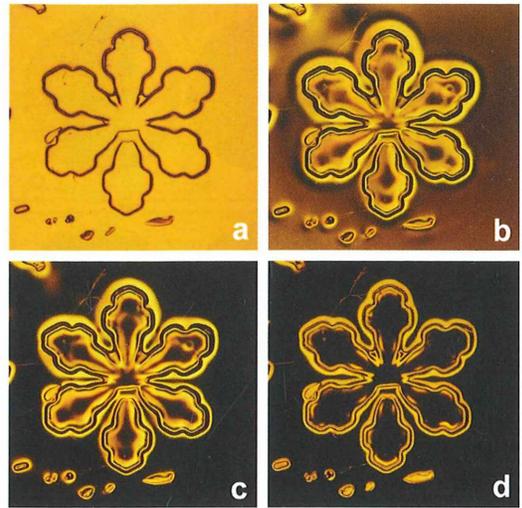
**Abb. 8:** Pyramidale Kristallisation aus Präparat von Abbildung 7, HFW 0,5 mm, Objektiv 10x. Hellfeld (a), konventionelles Dunkelfeld (b), VHDK (c) und axiales Dunkelfeld (d), jeweils mit Blendschieber.

### Exzentrischer Hell-Dunkelfeld-Kontrast

Eine exzentrische Objektbeleuchtung kann im VHDK realisiert werden, wenn der Kondensorlichtring dezentriert wird, so dass er sich mit der Außenzone des Objektivquerschnitts marginal überschneidet (Strahlengangsskizze in Abb. 1b). Nun ist nur noch ein schmales Segment des Lichtringes an der Objektbeleuchtung beteiligt, wobei der innerhalb des Objektivquerschnitts liegende Bereich das Hellfeldbild erzeugt und der außerhalb liegende Anteil das Dunkelfeldbild generiert. Die Intensität der Hell- und Dunkelfeldbilder und somit der Anteil beider Komponenten am resultierenden Überlagerungsbild kann bei dieser Anordnung mit der Aperturblende und zusätzlich durch leichte Verlagerung des Lichtringes variiert werden. Ein repräsentatives Bild des Strahlenganges, betrachtet durch ein Einstellokular für Phasenkontrastjustierung, zeigt Abbildung 2c.

### Variabler Hell-Dunkelfeld-Kontrast mit Blendschieber

Weitergehende Kontrastierungsvarianten können erzeugt werden, wenn ein Doppelblendschieber gemäß Abbildung 3 in den Strahlengang eingeführt wird, der aus zwei Lichtdurchlässen und einem lichtundurchlässigen Mittelsteg be-



**Abb. 9:** Schneeflocken-Abdruck in Entellan, Spannweite 1,0 mm, Objektiv 4x. Hellfeld (a), konzentrischer VHDK (ohne Blendschieber), relative Hellfelddominanz (b), relative Dunkelfelddominanz (c), normales Dunkelfeld (d).

steht. Das Mikroskop muss hierfür oberhalb des Objektivs möglichst nahe der hinteren Brennebene über eine Filteraufnahme verfügen, in welche der Blendschieber eingeführt werden kann.

Nun können unterschiedliche Kontrasteffekte im Strahlengang erzeugt werden, wobei stufenlose Übergänge zwischen Hell- und Dunkelfeldbeleuchtung möglich sind und die Exzentrität bei Schrägbeleuchtung stufenlos verändert werden kann. Auch hier sind die jeweiligen Justierungen mit Hilfe eines Einstellokulars kontrollierbar. Einige schematische Strahlengangsskizzen werden in Abbildung 4 gezeigt, exemplarische Justieransichten in den Abbildungen 5 und 6.

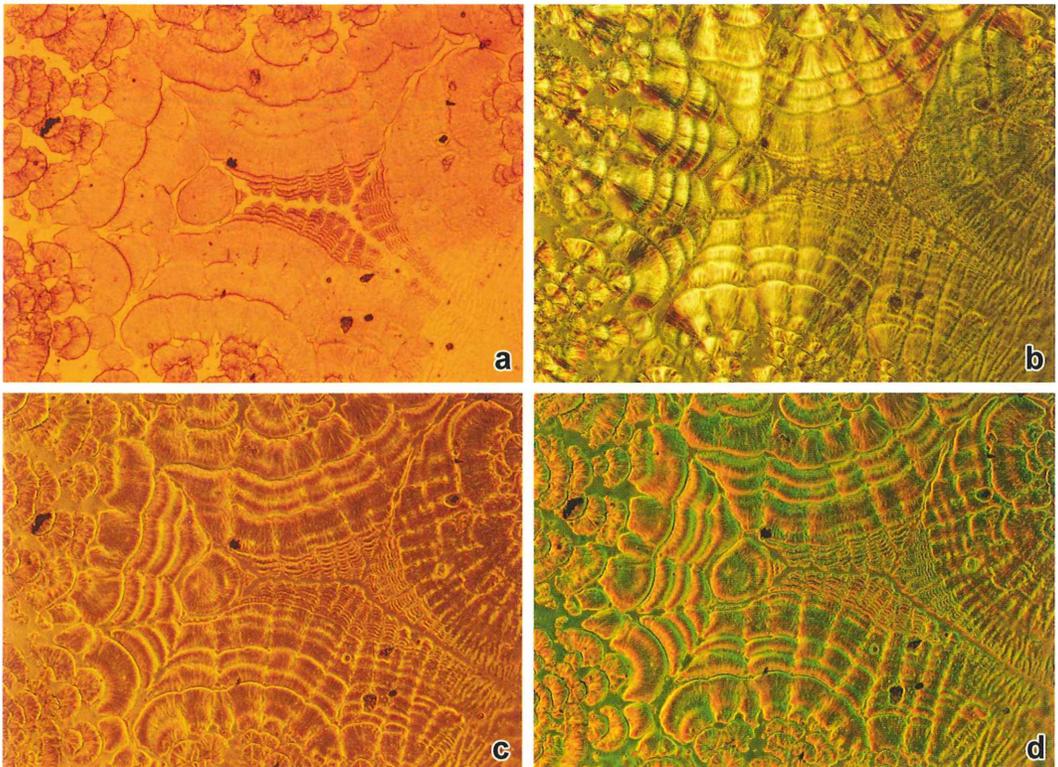
Zunächst kann der Lichtring im Kondensor so eingestellt werden, dass er mittig durch das Objektfeld verläuft. In dieser Situation wird das Objekt hellfeldanalog durchleuchtet (Abb. 5a). Die Länge des beleuchtenden Lichtsegmentes und damit die Beleuchtungsapertur kann mit Hilfe der Aperturblende bei Bedarf verringert werden (Abb. 5b). Nun wird der Doppelblendschieber so weit in den Strahlengang eingeführt, dass dessen Mittelsteg den Lichtdurchlass vollständig oder teilweise überdeckt (Abb. 5c). Bei kompletter Überdeckung ergibt sich eine axiale Dunkelfeldbeleuchtung (Strahlen-

gangsskizze in Abb. 4a). Da das Beleuchtungslicht bei dieser Einstellung im Unterschied zum konventionellen Dunkelfeld lotrecht durch das Objekt verläuft und erst hinter dem Objektiv abgefangen wird, können feine Binnenstrukturen im Objekt deutlicher erkannt und dunkelfeldtypische Überstrahlungen abgeschwächt werden. Wird der Lichtdurchlass nur teilweise abgedeckt, entsteht ein zusätzliches Hellfeldbild, welches wie vorbeschrieben mit dem axialen Dunkelfeldbild interferiert. Je nach Anteil der freigegebenen und abgedeckten Lichtkomponenten können vielfältige stufenlose Übergänge zwischen Hell- und Dunkelfeld erzeugt werden.

Wird das beleuchtende Lichtsegment mitsamt Lichtabdeckung aus seiner mittigen Position verschoben, ergibt sich eine Schrägbeleuchtung, deren Einfallswinkel in Abhängigkeit vom Exzentrizitätsgrad verändert werden kann (Strahlengangsskizze in Abb. 4b). Auch hier können wie beschrieben hell- und dunkelfelddominierte Bilder je nach Grad der Lichtabdeckung ineinander überführt werden. Eine

maximale Schrägbeleuchtung ergibt sich, wenn die Randzone des Objektivquerschnitts von einem Teil des Lichtdurchlasses segmental überlappt wird (Abb. 6a). In dieser Situation kann anstelle des Mittelsteiges auch eine der kreisbögig begrenzten Flächen des Doppelblendenschiebers zur Lichtabdeckung verwendet werden (Abb. 6b). Der Querschnitt des beleuchtenden Strahlenbündels kann auch bei dieser Ausführungsvariante durch die Aperturblende oder eine zusätzliche horizontal verschiebbar angeordnete Blende im Kondensator reduziert werden.

Ausgehend von den in den Abbildungen 1a und 2a/b gezeigten konzentrischen Beleuchtungsvarianten kann mit Hilfe des Doppelblendenschiebers eine selektive Schrägbeleuchtung im Hellfeldbild realisiert werden, wenn ein Teil des peripheren Beleuchtungslichts oberhalb des Objektivs abgedeckt wird (Abb. 6c). Durch eine partielle Abdeckung des Lichtrings im Kondensator selbst kann eine Schrägbeleuchtung der Hell- und Dunkelfeldbilder erreicht werden.



**Abb. 10:** Vitamin C, Kristallisation ohne Deckglas, HFW 1,2 mm, Objektiv 4x. Hellfeld (a), Polarisation mit  $\lambda/4$ -Kompensator (b), konzentrischer VHDK in ungefiltertem Halogenlicht (c) und Farb-Doppelkontrast (d).

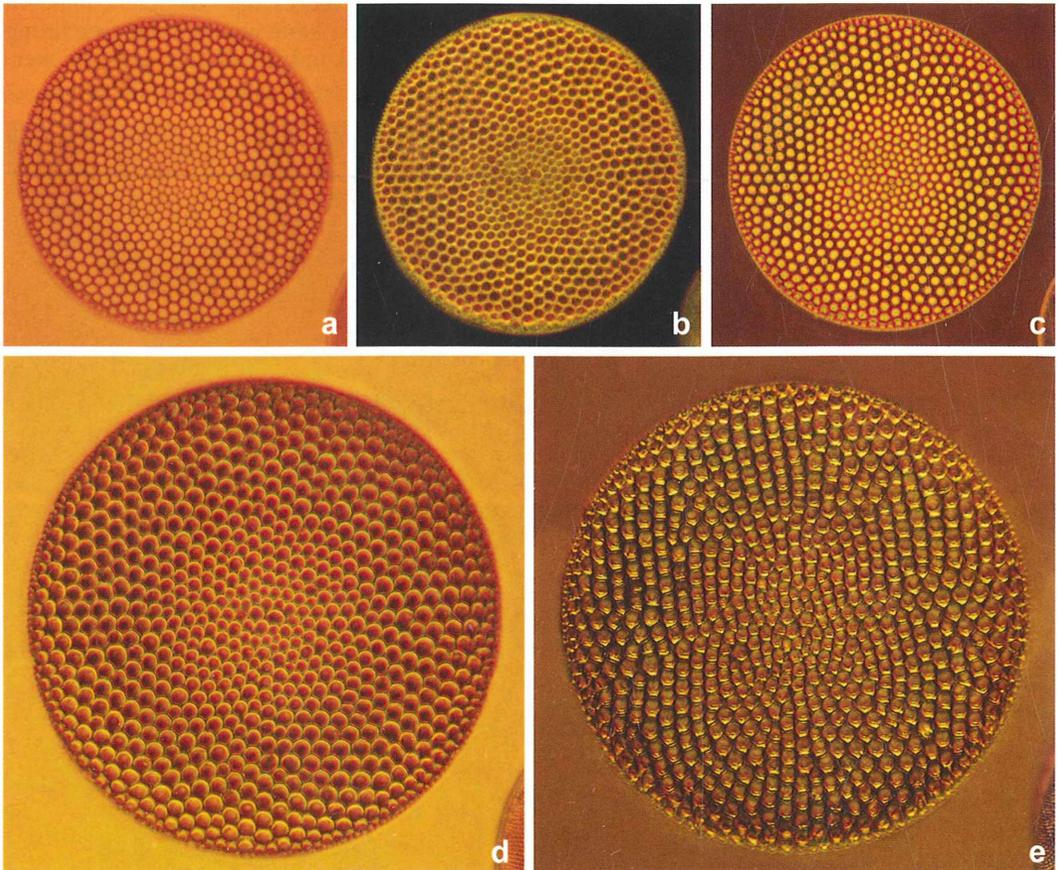
In allen Ausführungsvarianten können die Hell- und Dunkelfeld erzeugenden Beleuchtungsstrahlen in unterschiedlichen Farben gefiltert werden. Hierdurch können feine Texturen in einigen Objekten noch stärker hervorgehoben werden.

### Praktische Anwendungsbeispiele

Das Potenzial der beschriebenen Verfahren soll anhand der Abbildungen 7–14 veranschaulicht werden. Mit Ausnahme von Abbildung 14, bei welcher mehrere Einzelaufnahmen unterschiedlicher Fokusebenen mit Stacking-Software rekonstruiert wurden, handelt es sich bei den hier gezeigten Mikrofotografien um Einzelaufnahmen, welche den realen Seheindruck bei der jeweils eingestellten Fokussierung wiedergeben.

Abbildung 7 demonstriert verschiedene Übergänge von reinem Hellfeld über hell- und dunkelfelddominierte Ansichten bis hin zu axialem Dunkelfeld, erzeugt mittels Doppelblendschieber von Abbildung 3. Abbildung 8 zeigt aus dem gleichem Präparat eine stärker vergrößerte Detailansicht einer pyramidalen Kristallisation im konventionellen Hell- und Dunkelfeld sowie in zwei mit Doppelblendschieber realisierten VHDK-Varianten (Helldunkelfeldbild mit moderater Hintergrundhelligkeit und axialem Dunkelfeld). Nur in den VHDK-Bildern werden Verlauf und Anordnung der schräg ansteigenden Begrenzungslinien und zugehörigen Seitenwandungen der Pyramide erfasst.

Auch im konzentrischen VHDK können dreidimensionale Objekteigenschaften und feine oberflächliche Texturen deutlicher als in Stan-

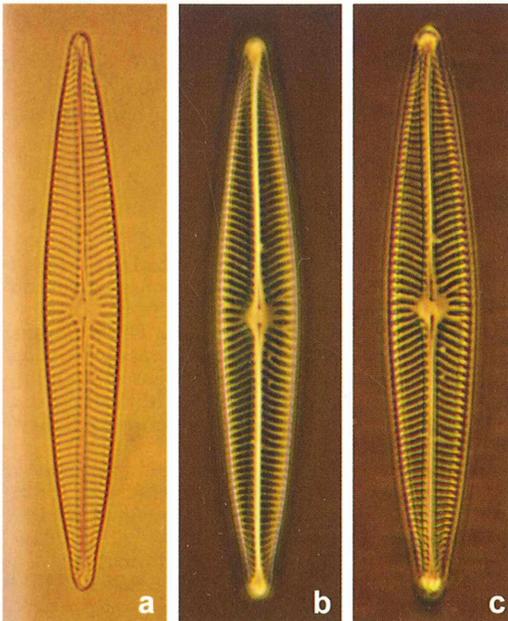


**Abb. 11:** Diatomee unter Deckglas, Durchmesser 0,14 mm, Objektiv 40x. Hellfeld (a), Dunkelfeld (b), Phasenkontrast (c), konzentrischer VHDK, relative Hellfeld- (d) und Dunkelfelddominanz (e).

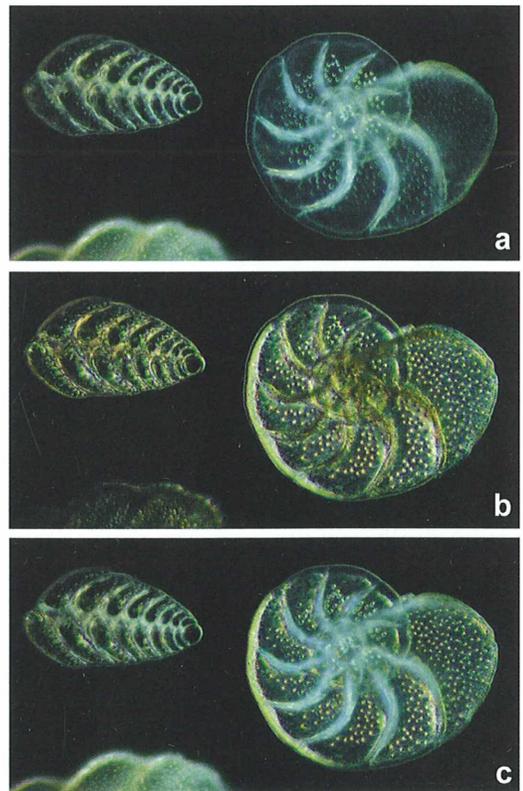
dardtechniken erkennbar sein. Der Schneekristallabdruck in Abbildung 9 wurde nach der von Gerd Günther beschriebenen Methode erstellt (Günther, 2010). Dieser Abdruck erscheint im Hell- und Dunkelfeld jeweils flach ausgestanzt. Erst in den VHDK-Ansichten kommen zusätzliche Einbuchtungen zur Darstellung, welche dem Oberflächenprofil des Schneekristalls entsprechen. Die unterschiedlichen Hellfeld-Dunkelfeld-Gewichtungen in den Abbildungen 9b und c wurden durch Höhenverstellung des Kondensors erreicht, wodurch die Projektionsgröße des Lichtringes im Strahlengang hinreichend variiert werden konnte. Abbildung 10 zeigt feine Schichtungen einer Vitamin C-Kristallisation. Auch hier führen die Aufnahmen im konzentrischen VHDK zu einer überlegenen Detaildarstellung, wobei feine Oberflächentexturen im Farbdoppelkontrast noch deutlicher akzentuiert werden, dies auch im Vergleich zu polarisiertem Licht. Die Abbildungen 11–14 geben einige Beispiele für Anwendungen der VHDK-Technik im mittleren und hohen Vergrößerungsbereich. Filigrane Oberflächentexturen von Diatomeenschalen stellen sich im konzentrischen VHDK präziser

und kontrastreicher dar als im Hell-, Dunkelfeld und Phasenkontrast (Abb. 11). Bei exzentrischer Beleuchtung wird die dreidimensionale Anordnung oberflächlicher Formelemente plastisch hervorgehoben; vorhandene hohe Hell-Dunkel-Kontraste können durch digitale Nachbearbeitung mit HDR-Software angeglichen werden. Abbildung 12 zeigt eine gerippt erscheinende Kieselalge in Hellfeld, Phasenkontrast und exzentrischem VHDK, aufgenommen mit Ölimmersion 100x. Es ist erkennbar, dass Strukturen geringer optischer Dichte in einer phasenkontrastähnlichen Weise darstellbar sind, wenn VHDK mit moderater Hintergrundhelligkeit angewendet wird.

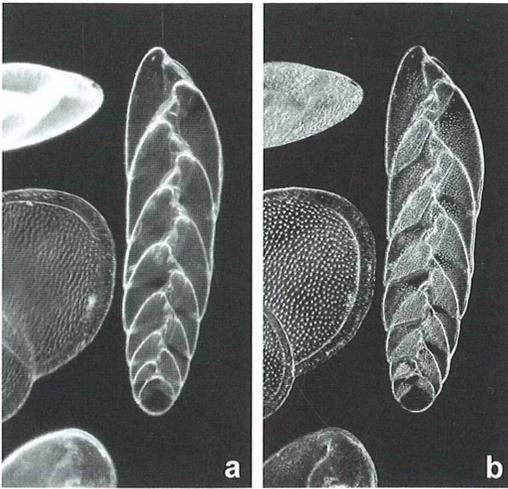
Bei Gehäusen von Foraminiferen sind im konventionellen Dunkelfeld vornehmlich kräftig kontrastierte Kammerwandungen erkennbar, während feine Öffnungen von dem schräg einfallenden Beleuchtungslicht nicht immer hin-



**Abb. 12:** Diatomee unter Deckglas, Länge 50  $\mu\text{m}$ , Objektiv 100x, Okular 10x. Hellfeld (a), konventioneller Phasenkontrast (b), VHDK, exzentrische Ausführungsvariante ohne Blendschieber (c).



**Abb. 13:** Foraminiferen, HFW 0,5 mm, Objektiv 10x. Konventionelles Dunkelfeld (a), axiales Dunkelfeld mit Blendschieber (b), Überlagerung von Bild a und b (c).



**Abb. 14:** Foraminiferen, HFV 0,6 mm, Objektiv 10 $\times$ . Konventionelles Dunkelfeld (a), axiales Dunkelfeld mit Blindenschieber, Überlagerung von 7 Einzelaufnahmen unterschiedlicher Fokusebenen mittels Stacking-Software (b).

reichend erfasst werden. Umgekehrt sind gerade solche kleinen Öffnungen im VHDK oder axialen Dunkelfeld bei maximaler Tiefenschärfe meist bestens erkennbar. Werden daher zwei Einzelaufnahmen im konventionellen Dunkelfeld und VHDK erstellt, können beide Einzelbilder zu einem Sandwich überlagert werden, welches die Vorteile beider Methoden in sich vereinigt (Abb. 13). Auf Grund erhöhter Tiefenschärfe, detaillierterer Darstellung feiner Binnenstrukturen und reduzierter Randüberstrahlungen sind unterschiedlich fokussierte VHDK-Bilder auch für gestackte Bildrekonstruktionen mit erhöhter Raumtiefe gut geeignet, bei denen der Eindruck vorhandener Plastizität weitgehend erhalten bleibt (Abb. 14).

## Diskussion

Wie die Bildbeispiele zeigen, kann VHDK bei geeigneten Objekten zu sichtbaren Verbesserungen der Bildgebung führen, welche der Beobachtung und Fotodokumentation zu Gute kommen. Die Option, zwischen axialen (konzentrischen) und schrägen (exzentrischen) Beleuchtungen mit variablem Einfallswinkel und veränderlicher Hintergrundhelligkeit zu wech-

seln, belegt die vielfältigen Anpassungsmöglichkeiten der Methode an gegebene Beobachtungserfordernisse. Als weiterer Vorteil ist zu werten, dass der Bildkontrast im Vergleich zu Hellfeld deutlich gesteigert wird, Überstrahlungseffekte bei dunkelfeldanalogen Bildern und Halophänomene bei phasenkontrastähnlichen Darstellungen weitgehend fehlen und die Aperturblende bei allen Ausführungsvarianten zur bedarfsweisen Verbesserung der Bildqualität eingesetzt werden kann. Obwohl die Methode durch eine erhöhte Tiefenschärfe ausgezeichnet ist, bleibt die laterale Auflösung adäquat, solange die Objektivapertur hinreichend ist. In diesem Kontext ist zu berücksichtigen, dass die laterale Auflösung zwar durch eine Verringerung der Beleuchtungsapertur gemindert wird, der Gewinn an Tiefenschärfe jedoch überproportional steigt und durch Schrägbeleuchtung ein potenzieller Verlust an Auflösung kompensiert werden kann. Die Auflösung kann nämlich durch Schrägbeleuchtung bis auf das Doppelte einer azimutalen Beleuchtung angehoben werden (Determann und Lepusch, 1981; Leitz Wetzlar GmbH, 1969; Robertson, 1972).

## Danksagung

Herrn Eberhard Raap, Sangerhausen, und Herrn Gunther Chmela, Großholzhausen, danken wir für einige Lege- und Streupräparate von Diatomeen und Foraminiferen.

## Literaturhinweise

- Davidson, M. W., Abramowitz, M.: Darkfield microscopy, 2011. <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/techniques/darkfieldindex.html>
- Davidson, M. W., Abramowitz, M.: Phase contrast microscopy, 2011. <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/techniquesphasecontrast/phaseindex.html>
- Determann, H. Lepusch, F.: Das Mikroskop und seine Anwendung. Werksdruckschrift der E. Leitz Wetzlar GmbH, 1981.
- Leitz Wetzlar GmbH: Abbildende und beleuchtende Optik des Mikroskops. Werksdruckschrift, 1969.
- Günther, G.: Schneekristalle – Pretiosen des Winters. *Mikrokosmos* 99, 331–337 (2010).
- Robertson, D.: Beugung und Auflösung. In: *Das Leben unter dem Mikroskop*, S. 21–24, Editions Rencontre, Lausanne 1972.

*Verfasser:* Timm Piper und Prof. Dr. med. Jörg Piper, Marienburgstraße 23, 56859 Bullay, E-Mail: [jpu.mp@t-online.de](mailto:jpu.mp@t-online.de)

# Nurflügler-Samen von *Alsomitra macrocarpa* – Die besten pflanzlichen Gleitflieger der Welt.

## Teil 3: Feinbau und Stabilität

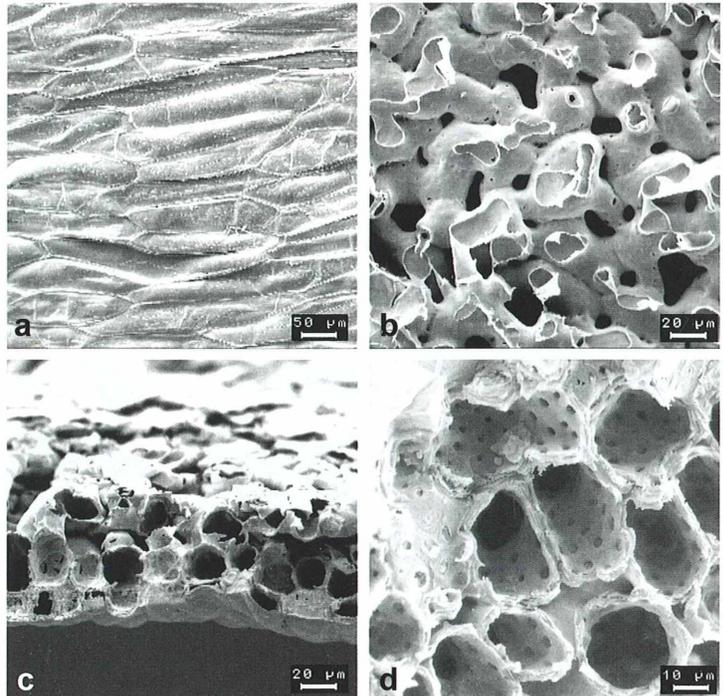
Werner Nachtigall und Alfred Wisser

In den beiden vorangegangenen Arbeiten (Nachtigall, 2011a, b) wurden Bau und Funktion dieser zarten Gleitgebilde untersucht und lichtmikroskopisch sowie biophysikalisch untermauert. Das Rasterelektronenmikroskop enthüllt nun den Feinbau der tragenden Strukturen und der ultradünnen und trotzdem statisch ungemein stabilen Flügelspreite, die sich erst durch die angreifenden Luftkräfte in ihre Funktionsform aufblüht und so ihre aerodynamische Stabilität erhält.

**H**ält man eine *Alsomitra*-Diaspore am Nüsschen vorsichtig zwischen zwei Fingern, so erscheint die tragende Fläche fast eben, wegen der ursprünglichen Lage in der Kugelfrucht nur wenig aufgebogen. Im freien Gleitflug dagegen sind die äußeren Flügelteile deutlicher aufgebogen, so dass der Angriffspunkt der Luftkraft resultierenden über den Schwerpunkt zu liegen kommt. Dadurch wird

der Gleitflug stabilisiert. Die Funktionsform ergibt sich also erst aus dem Arbeitszustand. Offenbar sind die feinen tragenden Strukturen (Nachtigall, 2011a) so ausgeformt und mit der hauchdünnen Spreite verbunden, dass sich unter Wirkung der Luftkräfte gerade der richtige Abbiegungsgrad ergibt.

Eine nähere rasterelektronenmikroskopische Untersuchung gibt Einblicke in den strukturellen



**Abb. 1:** Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen.  
**a** Oberfläche.  
**b** Übergang Nüsschen/Spreite.  
**c** Querschnitt Spreite im mittleren Abschnitt.  
**d** Ausschnitt von c.

Feinbau. Belastungsversuche mit einer dem Gleitzustand entsprechenden Flächenlast einer pulverartigen Substanz können die Luftkräfte simulieren und dadurch den Abbiegungsgrad einstellen und verstehen lassen. Mit Biegeversuchen lassen sich schließlich statische Kenngrößen ermitteln.

### Rasterelektronenmikroskopie

Das Nüsschen formt am Übergang zur Spreite ein lufthaltiges Gewebe verknäuelter, abgestorbener Zellen, die zwischen sich und in ihrem Inneren Lufträume einschließen (Abb. 1b, d). Die Zellwände sind nur etwa  $\frac{1}{4}$   $\mu\text{m}$  dick; die Region ist damit stabil und leicht gebaut.

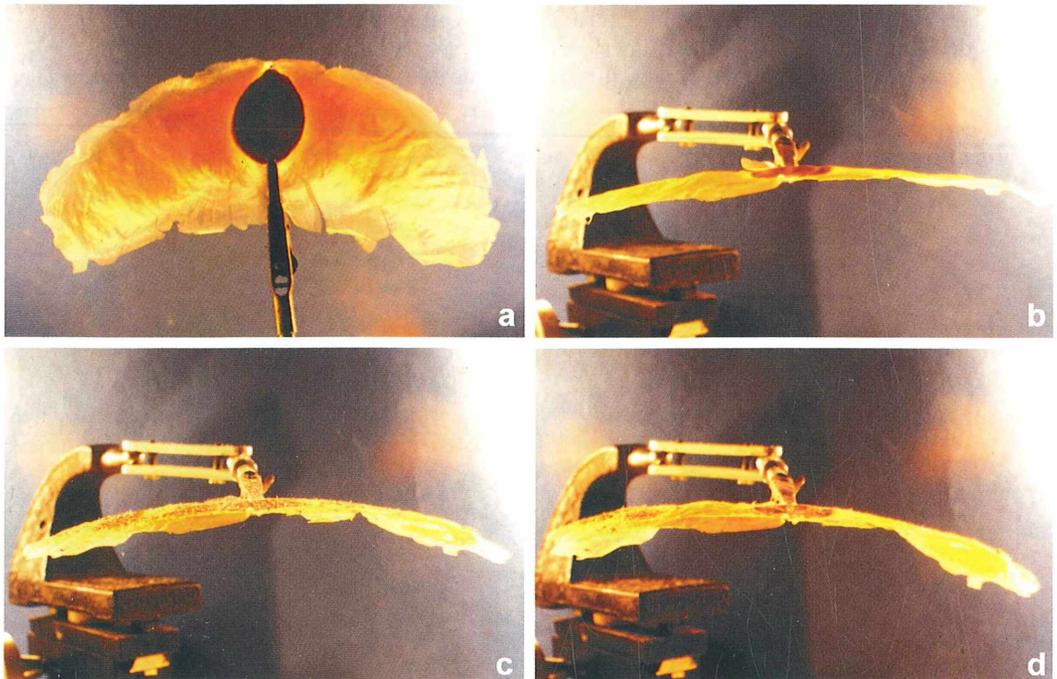
Die zarte Spreite ist im Übergangsbereich vielschichtig und im Aufbau in der erwähnten Weise ungerichtet; weiter distal wird sie wenig-schichtig (Abb. 1c), behält aber ihren Leichtbaucharakter. Speziell verstärkte und verkittete Zellwände schließen sich zu faserartigen Strukturen zusammen, die eine Art tragendes Fein-

skelett bilden. Die Flügelkanten und ihre Umgebung sind frei von solchen Strukturen und laufen einschichtig aus. Die Oberflächenstruktur (Abb. 1a) lässt zwar die Zellgrenzen erkennen, ihre Mikrorauigkeit bewegt sich aber im Bereich von lediglich 1–2  $\mu\text{m}$  und kann als aerodynamisch glatt eingestuft werden. Makrorauigkeiten, gröbere und feinere Wellungen, wie sie Fotoabbildungen zeigen, haben dagegen sicher einen strömungsmechanischen Effekt.

### Stabilität

An der gleitenden Diaspore kann man aerodynamische und statische Stabilität unterscheiden.

*Aerodynamische Stabilität:* Der Angriffspunkt der resultierenden Gewichtskraft  $F_{\text{g}}$ , der Schwerpunkt  $S_{\text{Fg}}$ , liegt – nicht ganz zentrisch – im Nüsschen. Die Wirkungslinie der Vertikalkomponente der resultierenden Luftkraft  $F_{\text{L, res}}$  verläuft sicher hinter  $S_{\text{Fg}}$ . Das ist, wie bereits erwähnt, Voraussetzung für einen stabilen Gleitflug.



**Abb. 2:** Untersuchung zur Wirkung einer Flächenlast (gleichmäßige Bestäubung mit einem Pulver; Pulvermasse  $\approx$  Diasporenmasse  $\approx$  0,2 g). Diaspore am Nüsschen kopfüber (Unterseite nach obenweisend) festgeklemmt. **a** und **b** Unbelastet, **c** gleichmäßig belastet, **d** ungleichmäßig belastet mit Gesamtlast etwa auf den beiden äußeren Dritteln.

**Seitenstabilität:** Wenn Schwingungen eines Flugkörpers um seine Längsachse  $x$  automatisch abgedämpft werden, so dass der Körper nach einer Auslenkung (etwa durch eine Böe) in seine stabile Fluglage zurückschwingt, spricht man von Seitenstabilität. Rollt der hier betrachtete biologische Gleiter infolge einer solchen Störung um seine Längsachse  $x$  (Abb. 4a  $\rightarrow$  b), so verschiebt sich  $F_{\perp res}$  nach der Seite.  $F_{\perp res}$  erzeugt ein Rollmoment  $M_1$  (in der Orientierung der Abbildung gegen den Uhrzeigersinn gerichtet). Dieses rollt den Gleiter in seine stabile Lage zurück (b  $\rightarrow$  a).

### Längsstabilität

Da die Hinterkante durch die Luftkräfte etwas aufgebogen ist, lässt sich das folgende Gleichgewicht annehmen. In der Ansicht von der Seite (Abb. 4c) verläuft die Wirkungslinie von  $F_{\perp res}$  hinter dem Punkt  $S_{Fg}$ , was schon durch die nach hinten gezogenen Flügelenden der Fall sein dürfte. Durch  $F_{\perp res}$  wird ein gegen den Uhrzeiger gerichtetes Kippmoment  $M_1$  um die Querachse  $y$  erzeugt, das die Vorderkante abwärts zu drehen sucht ( $\rightarrow$  Kopflastigkeit,  $\rightarrow$  Abstürzen). Über die aufwärts gebogene Hinterkante HK wird aber eine Kraft erzeugt, deren abwärts gerichtete Komponente  $F_{\perp HK}$  ein gegendrehendes Kippmoment  $M_2$  im Uhrzeigersinn induziert, das die Vorderkante aufwärts zu drehen sucht. Bei Austarierung herrscht Momentengleichgewicht und damit Längsstabilität (Abb. 4c).

Verkippt das System, etwa durch eine Windböe, in Richtung auf Verkleinerung des Anstellwinkels  $\alpha$ , so wird  $F_{\perp res}$  kleiner und verkleinert so das Kippmoment  $M_1$ . Dadurch wird der Gleiter in Richtung auf das richtige  $\alpha$  zurückgekippt (Abb. 4d  $\rightarrow$  c). Bei Vergrößerung von  $\alpha$  durch eine Böe verlaufen die Vorgänge in umgekehrter Richtung. Insgesamt ergibt sich Längsstabilität.

Wenn gute Seitenstabilität und Längsstabilität zusammenkommen, spricht man vereinfacht auch von einer guten flugmechanischen Stabilität. Die *Alsomitra*-Diaspore verhält sich damit wie ein gutes Segelflugzeug.

### Statische Stabilität

Die Diaspore muss sich unter der Wirkung ihres Eigengewichts und der Luftkräfte richtig – das

heißt, nicht zu schwach und nicht zu stark – durchbiegen, und zwar seitlich und an der Hinterkante leicht hochgerichtet, so dass sich aerodynamische Stabilität einstellen kann. Dafür sollte sie in Richtung Nüsschen  $\rightarrow$  Flügelspitze und in Richtung Nüsschen  $\rightarrow$  Hinterkante zunehmend elastischer gebaut sein.

Die wichtigste Elastizitätskenngröße ist der Elastizitätsmodul (E-Modul, abgekürzt E). In der Technik wird er in der Regel durch Zugversuche ermittelt ( $\rightarrow$  E). Man kann ihn aber auch durch Biegeversuche bestimmen, wie hier geschehen ( $\rightarrow$   $E_b$ ). Im Allgemeinen gilt  $E \approx E_b$ . Zunächst sei das Abbiegeverhalten durch eine Flächenlast qualitativ dokumentiert.

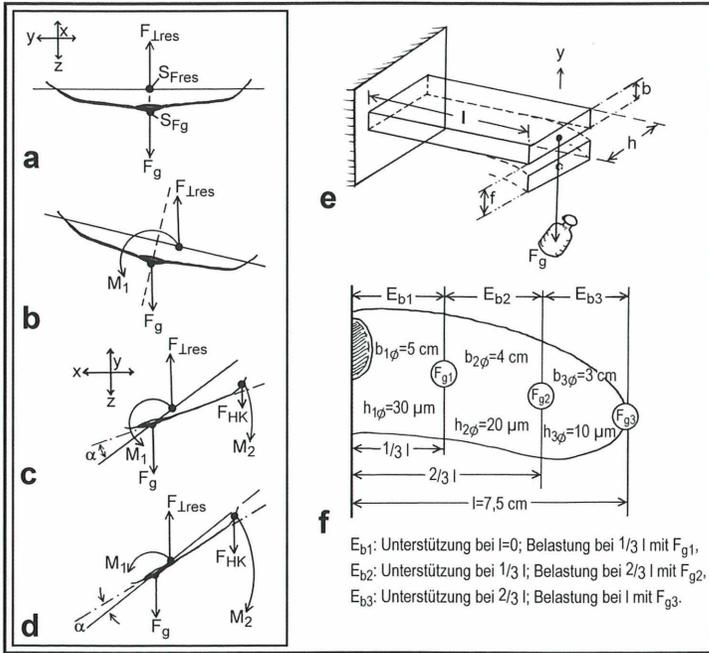
### Abbiegeverhalten

Eine mit einer Miniaturklemme am Nüsschen bauchoben vorsichtig horizontal festgeklemmte Diaspore von etwa 0,2 g Masse wurde von oben und von vorne fotografiert. Die Spreite war nur ganz leicht durchgebogen (Abb. 2a, b). Dann wurde die Diaspore mit einem Sieb vorsichtig und gleichmäßig mit einem trockenen Pulver (feingemahlener Weizenkleie gleicher Masse) bestäubt. Damit wurden die Luftkräfte beim Gleitflug (vgl. Nachtigall, 2011a; Abb. 1b) simuliert. Wie Abbildung 2c zeigt, waren nun die Spitzenregion und die Hinterkanten der distaleren Bereiche merklich abgebogen (im Gleitflug: aufgebogen), und zwar genau so, wie es dem visuellen Eindruck von gleitfliegenden Diasporen entspricht.

Eine Flächenlast von der Größe des Diasporengewichts bringt also das zarte Flügelsystem in



**Abb. 3:** Methodik der Belastungsversuche zur Feststellung der statischen Stabilität.



**Abb. 4:** Aerodynamische und statische Stabilität. **a** und **b** Ansicht einer gleitenden Diaspore von vorne. **a** Stabile Lage, **b** Rückdrehung in die stabile Lage nach Zwangsrollen. **c** und **d** Ansicht einer gleitenden Diaspore von der Seite. **c** Stabile Lage; **d** Rückdrehung in die stabile Lage nach Zwangskippen. **e** Flach eingespannter Biegebalken. **f** Bezeichnungen zu einer einseitig (am Nüsschen) flach-biegebalkenartig eingespannten Diaspore. Teils vereinfachte Schemata. Kräfte, Momente, Auslenkungen und Konturen nicht maßstäblich. Zu den Bezeichnungen siehe den Text.

Arbeitsstellung. Verteilt man dagegen die Belastung so, dass sich die Gesamtlast jeweils zur Hälfte auf die beiden äußeren Flügeldrittel bis Flügelviertel konzentriert, so werden diese unphysiologisch weit abgebogen (Abb. 2d). So könnte die Diaspore nicht gleiten, sondern sie würde periodisch vorne aufkippen und abtrudeln. Die richtigen Lasten und die richtigen Abbiegungsgrade erscheinen also durch die Art des Verlaufs und der Ausdünnung der Versteifungsstrahlen in den Randregionen fein aufeinander abgestimmt, wie sich durch den Vergleich von Biegekenngößen zeigen lässt.

**Biegekenngößen**

Eine Hälfte der Diaspore kann man als einseitig (am Nüsschen) eingespannten Biegebalken betrachten. Aus Belastungsversuchen mit einer Punktlast lassen sich Biegekenngößen ableiten. Betrachtet werde eine nach Art der Abbildung 4e einseitig eingespannte dünne Platte der Höhe (Dicke)  $h$ , Breite  $b$ , Länge  $l$ , an deren Ende ein Gewicht  $F_g$  hängt und die Platte dort mit der Auslenkung  $f$  abbiegt. Nach den Verfahren der Festigkeitslehre kann man mit einem derartigen Biegeversuch den Biege-Elastizitätsmodul  $E_b$  bestimmen. Je größer dieser ist, desto

steifer ist das Material, desto weniger wird es unter einer gegebenen Belastung abgebogen. Zur Berechnung von  $E_b$  benötigt man noch eine geometrische Kenngröße, das Flächenträgheitsmoment  $I_y$ . Für den hier gewählten Träger berechnet es sich zu  $I_{yy} = b h^3 / 12$ . Damit ergibt sich der gesuchte Biege-Elastizitätsmodul zu  $E_b = F_g l^3 / (3 f I_y) = 4 F_g l^3 / (f b h^3)$ .

Mit den Längeneinheiten in mm und dem Gewicht in N (Newton; 1 N  $\triangleq$  100 g) resultiert die Einheit  $N\ mm^{-2}$ . Übliche Umrechnungsfaktoren sind:  $1000\ N\ mm^{-2} = 1\ kN\ mm^{-2} = 10^9\ N\ m^{-2}$  oder  $Pa = 1\ GPa$  (Gigapascal). Die Formel gilt genau für homogenes, isotropes Material. Ich habe die Formel einmal mit einem Stahlband-Lineal ( $l = 460\ mm$ ,  $b = 16\ mm$ ,  $h = 0,8\ mm$ ) und einer Endbelastung mit einem Eurostück (Masse 7 g, entsprechend 0,07 N) getestet. Mit einer Auslenkung von  $f = 15\ mm$  hat sich ergeben:  $E_{\text{Bandstahl}} = 227\ GPa$ . Tabellen geben für Stähle Werte zwischen 180 und 216 GPa. Eine *Alsomitra*-Diaspore wurde am Nüsschen eingespannt, Bauchseite nach oben. Sie wurde so unterstützt und belastet (Abb. 3), dass die Biege-Elastizitätsmodule  $E_{b1}$  für das basale (innere) Drittel,  $E_{b2}$  für das mittlere Drittel sowie  $E_{b3}$  für das distale (äußere) Drittel durch geig-

nete Belastung (zwischen 2 und 0,1g) und Messung der jeweiligen Auslenkung (zwischen 1 und 4,5 mm; mittlere Auslenkung berechnet mit  $n = 6$  Belastungen; prozentuale Standardabweichungen  $\leq 20\%$ ) in etwa bestimmt werden konnten. Da das Material weder homogen noch isotrop ist, eher faserverstärktem Kunststoff entspricht, da ferner die Flächenträgheitsmomente nur grob angenähert werden und schließlich Spreitenwellungen nicht berücksichtigt werden konnten, sind die Ergebnisse nur als Näherungswerte zu verstehen:

$$I_{y1} = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^4; E_{b1} = 150 \text{ GPa}$$

$$I_{y2} = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^4; E_{b2} = 120 \text{ GPa}$$

$$I_{y3} = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^4; E_{b1} = 110 \text{ GPa}.$$

Sowohl der Verlauf der Werte als auch die Absolutwerte sind bemerkenswert.

Die Diaspore wird gegen die Flügelspitzen deutlich weniger steif, so dass sie weiter außen durch die Luftkräfte stärker aufgebogen und damit in Arbeitsstellung versetzt werden kann, trotzdem sie dort schmaler ist.

Die Absolutwerte nähern sich erstaunlicherweise den Werten für Baustähle(!) (180–216 GPa) und den besten kohlefaserverstärkten Kunststoffen (70–200 GPa). Ganz im Gegensatz dazu stehen die Werte für Polyvinylchloridfolien (1–3 GPa) und erst recht Polyethylenfolien (0,15–1,65 GPa) – ein indirekter Hinweis auf die Effizienz der ebenso biegesteifen wie ungeweinen leichten Versteifungsleisten in der Diaspore.

## Danksagung

Die Verfasser danken Prof. Dr. Siegfried Wagner, Aerodynamik Uni Stuttgart, für freundliche Hinweise zur flugmechanischen Stabilität.

## Literaturhinweise

Böge, A.: Mechanik und Festigkeitslehre. 15. Aufl., Vieweg, Braunschweig 1974.

Nachtigall, W.: Nurflügler-Samen von *Alsomitra macrocarpa* – Die besten pflanzlichen Gleitflieger der Welt. Teil 1: Funktionsmorphologie und Gleitflug. Mikrokosmos 100, 223–231 (2011a).

Nachtigall, W.: Nurflügler-Samen von *Alsomitra macrocarpa* – Die besten pflanzlichen Gleitflieger der Welt. Teil 2: Optimierung und Größenvergleich. Mikrokosmos 100, 273–279 (2011b).

Der Text sowie die Abbildungen 2 und 3 wurden von Werner Nachtigall angefertigt, die rasterelektronenmikroskopischen Bilder und die Tafelanordnungen von Alfred Wisser.

*Verfasser:* Prof. em. Dr. rer. nat. Werner Nachtigall, Außenstelle Universität des Saarlands zur Arbeitsstelle für Technische Biologie und Bionik der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz. Postanschrift: Universität, Bau A 2.4, Raum 043, 66041 Saarbrücken,

E-Mail: w.nachtigall@mx.uni-saarland.de

und Dr. rer. nat. Alfred Wisser,

Biowissenschaften, Zoologie und Physiologie.

Postanschrift: Universität, Bau A 2.4, Raum 3.41, 66041 Saarbrücken,

E-Mail: a.wisser@mx.uni-saarland.de

## Kurze Mitteilung

### Autophagie bei der Differenzierung der trachealen Elemente von Pflanzen

Bei der Differenzierung von Tracheiden und Tracheen, der „trachealen Elemente“ (TE) von Pflanzen, werden die Zellwände verdickt und sie verholzen. Der Protoplast stirbt und seine Reste werden ausgeräumt, was man Apoptose (programmierter Zelltod) nennt. Der Zelltod der TE ist ein typisches Beispiel hierfür. Er sollte mit Autophagie verbunden sein. Bislang gab es aber dafür nur wenig Beweise. Kwon et al. (2010) haben nun gezeigt, dass das kleine GTP-bindende Protein RabG3b bei der Autophagie und somit auch bei der TE-Differenzierung eine

wichtige Rolle spielt. In transgenen *Arabidopsis*-Pflanzen, in denen dieses Protein überexprimiert ist, werden Autophagie und TE-Differenzierung stimuliert, in verschiedenen negativen Mutanten sind sie gehemmt.

#### Literaturhinweis

Kwon, S. J., Cho, H. J., Jung, J. H., Yoshimoto, K., Shirasu, K., Park, O. K.: The RabGTPase RabG3b functions in autophagy and contributes to tracheary element differentiation in *Arabidopsis*. Plant J. 64, 151–164 (2010).

Eberhard Schnepf, Heidelberg

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

2. Die Redaktion bittet, Manuskripte auf fortlaufend nummerierten DIN A4-Bögen einzureichen. Zugunsten der Themenvielfalt in einem Heft können keine überlangen Artikel berücksichtigt werden. Ein Manuskript darf bei 1,5-fachem Zeilenabstand und einer 12-Punkt-Schriftgröße einschließlich der Literaturhinweise und Bildlegenden nicht länger als 10 Seiten sein; der Abbildungsanteil darf insgesamt vier Druckseiten nicht überschreiten (Platzbedarf der Abbildungen gemäß der vorgegebenen Bildgrößen berechnen). Der Text wird durch Zwischenüberschriften untergliedert. Am Ende des Manuskriptes steht die vollständige Autorenadresse. Soweit möglich, sollten die Manuskripte zusätzlich zur Hardcopy auf einer CD als Word-Dokument ohne spezielle Formatierung eingereicht werden (Arial 12 pt). Bitte keine Trennungen einfügen.

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

4. Als Bildvorlagen sind Farbdias, Schwarzweiß- oder Farbfotos sowie druckfertige Strichzeichnungen und Graphiken geeignet. Alle Materialien namentlich kennzeichnen. Auf den Originalabbildungen keine Beschriftungen vornehmen, sondern nur auf Kopien. Elektronische Abbildungen nur als Tiff-Dateien (300 dpi bei 14 cm Bildbreite) auf CD-R einreichen. Bei digitalen Bildern unbedingt auch eine unbeschriftete Version einreichen. Wenn Beschriftung in digitalen Vorlagen vorgenommen wird, bitte Arial 10 pt normal verwenden; die Nummerierung der Abbildungen in Arial 12 pt fett einfügen. Die Abbildungen so abspeichern, dass die Beschriftung nachträglich verändert werden kann (z. B. in Photoshop die Ebenen nicht vereinen, sondern getrennt belassen).

Die Bilder werden in drei verschiedenen Breiten reproduziert: 7 cm (1-spaltig), 9,5 cm (1,5-spaltig) und 14 cm (2-spaltig = seitenbreit). Es können mehrere Bilder zu Tafeln kombiniert werden. Vergrößerungen sollten erst anhand der Bildandrucke berechnet werden, die vor

Drucklegung zusammen mit den Korrekturandrucken der Artikel den Autoren zugesandt werden. Anstelle einer Vergrößerungsangabe können auch Maßstriche in die Abbildungen eingefügt werden.

5. Alle Bildvorlagen bleiben Eigentum des Autors.

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

Zitate von Zeitschriftenbeiträgen:

Schnepf, E.: Optische Aufheller: Leuchtende Werkzeuge für die Mikroskopie. Teil 1: Mechanismen und Substrate der Fluochromierung. *Mikrokosmos* 94, 175–180 (2005).

Kudryavtsev, A., Smirnov, A.: *Cochliopodium gallicum* n. sp. (Himatismenida), an amoeba bearing unique scales, from cyanobacterial mats in the Camargue (France). *Europ. J. Protistol.* 42, 3–7 (2006).

Buchzitate:

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

Zitate von Buchbeiträgen:

Hausmann, K., Hülsmann, N., Radek, R.: „Einzellige Eukaryota“, Einzeller. In: Westheide, W., Rieger, R. (Hrsg.): *Einzeller und Wirbellose Tiere*, 2. Auflage, S. 1–65. Elsevier Verlag, München 2007.

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

8. Jeder Autor erhält von seiner im MIKROKOSMOS veröffentlichten Arbeit kostenlos 25 Sonderdrucke oder ein PDF. Zusätzliche Sonderdrucke können auf Nachfrage vom Verlag auf eigene Kosten bezogen werden.

9. Der Verlag honoriert jede Druckseite mit € 30,00, ein Foto, das auf der Titelseite erscheint, mit € 60,00 und ein Foto, das auf der Rückseite erscheint, mit € 45,00.

10. Manuskripte bitte einsenden an:

Prof. Dr. Klaus Hausmann  
Redaktion MIKROKOSMOS  
Institut für Biologie/Zoologie  
Freie Universität Berlin  
Königin-Luise-Straße 1–3  
14195 Berlin

## Das letzte Bild

Das umseitige Bild zeigt Tropfen einer Seifenlösung (Pustefix).

Präparationstechnik: Ein kleiner Tropfen der Seifenlösung wurde auf einen Objektträger aufgebracht und mit einer feinen Nadel so lange verrührt, bis sich viele kleine Luftblasen gebildet hatten. Mikroskopiertechnik: Objektiv Plan 2,5fach, Fotookular 8fach, Hellfeld, Durchlicht, zusätzlich Auflicht-Schrägbeleuchtung (Kaltlichtquelle mit Schwannhals-Lichtleiter), adaptierte Digitalkamera Olympus Camedia C-7070, Vergr. 50fach.

Foto: Timm Piper, Bullay; E-Mail: [tim.piper@gmx.de](mailto:tim.piper@gmx.de)

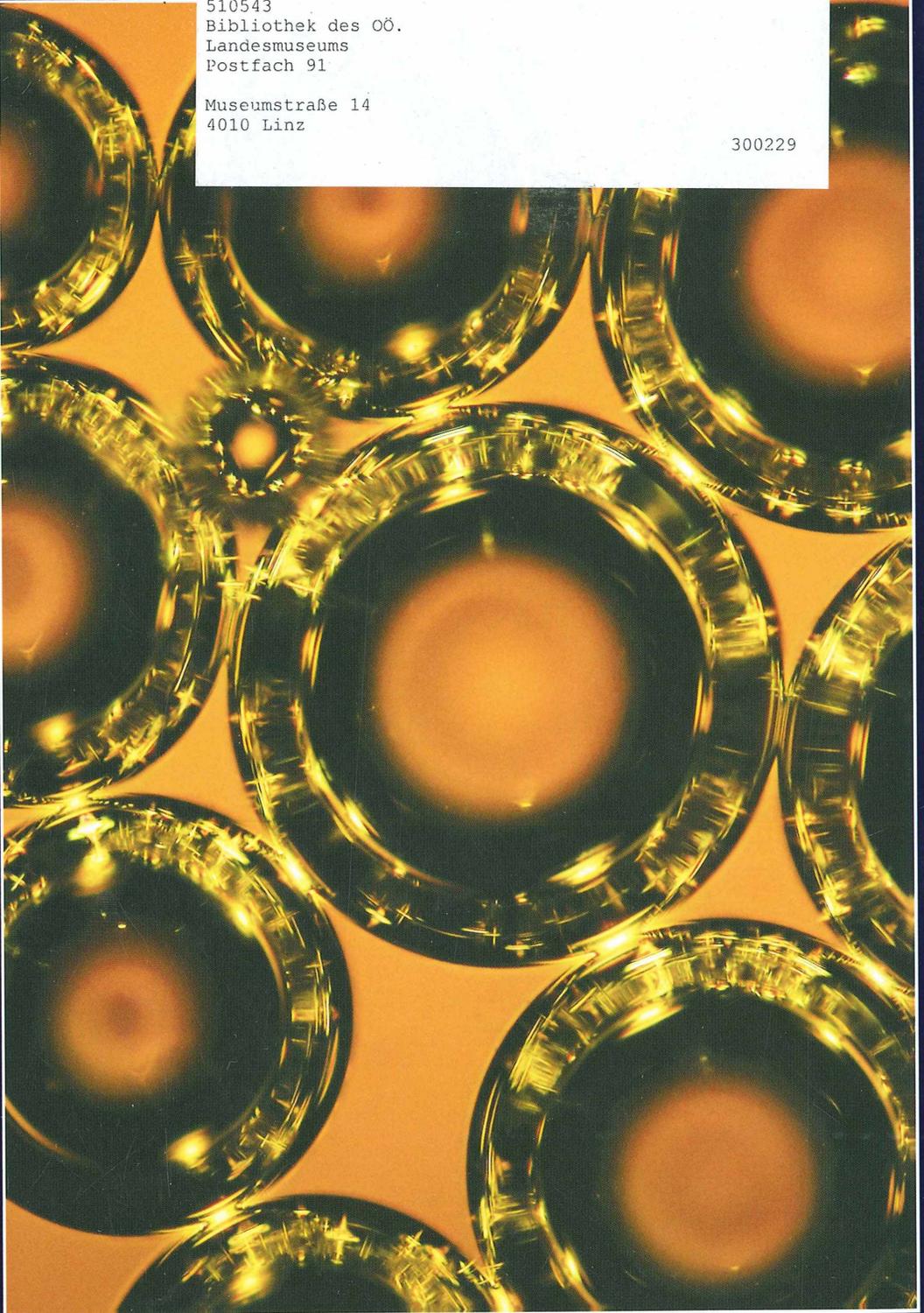
Vorschläge für *Das letzte Bild* bitte Herrn Wolfgang Bettghofer, Rutkamp 64, 24111 Kiel, zusenden. Bitte nur Hochformate für die Endgröße 14 x 20 cm einreichen. Elektronische Vorlagen nur als Tiff-Dateien (300 dpi bezogen auf die Bildendgröße) vorbereiten. E-Mail: [wolfgang.bettghofer@gmx.de](mailto:wolfgang.bettghofer@gmx.de).

Die Redaktion behält sich vor, die Bilder, wenn es nötig erscheint, zu beschneiden.

510543  
Bibliothek des OÖ.  
Landesmuseums  
Postfach 91

Museumstraße 14  
4010 Linz

300229



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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 2011

Band/Volume: [100\\_6](#)

Autor(en)/Author(s):

Artikel/Article: [Mikrokosmos 100\\_6 1](#)