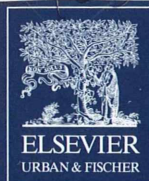


II 90372/97,1



# MIKROKOSMOS

Heft 1  
97. Jahrgang  
Januar 2008

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

ISSN 0026-3680



# MIKROKOSMOS

## Ö.Ö. LANDESMUSEUM BIBLIOTHEK Zeitschrift für Mikroskopie

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

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

## Inhalt

### Artikel

- 1 Editorial  
*Klaus Hausmann*
- 2 Reproduktionsstrategien und Embryonalentwicklung der Daphniidae – Eine Fotodokumentation  
*Jeanette Bierwolf*
- 9 Unfreiwillige Passagiere oder versteckte Eiräuber? Muschelkrebse und Wasserflöhe im Brutraum des Flossenfloh *Limnadia lenticularis*  
*Andreas Martens, Joachim Leicht und Karsten Grabow*
- 13 Heimlichtuer im Rampen„licht“ – Flohkrebse unter dem Rasterelektronenmikroskop  
*Martin Husemann, Bettina Abeln, Melanie Wagner und Monika C. M. Müller*
- 23 Die Histologie der Zähne am Beispieldes Unterkiefers einer Maus (*Mus musculus*)  
*Falko Drews und Kai Muhlack*
- 31 Begegnung mit *Arachnidiopsis paradoxa*  
*Martin Kreutz*
- 36 Mein Mikro-Makro-Thespis-Karren – Das kleine Welttheater auf Rädern  
*Erich Lütthje*
- 43 Einsatz astronomischer Filter in Mikroskopie und Mikrofotografie  
*Jörg Piper*
- 51 Dreidimensional und computergestützt – Innovative Bildgebung in der Zahnarztpraxis  
*Annett Burzlaff*
- 55 Maritime Bionik: Schlangensterne – Teil 2: Skelettplatten  
*Wolfgang Hasenpusch und Torsten Zaiß*

### Rubriken

- 34, 50, 54, 62**  
Buchbesprechungen
- 30**  
Kurze Mitteilung
- 7, 12, 29, 40**  
Nachricht
- 35, 42, 49**  
Aus der Industrie
- 22**  
Mikro-Ufo
- 63, 64**  
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:* Dunkelfeldaufnahme einer Daphnie mit sich entwickelnden Eiern im Brutraum.  
Siehe Artikel J. Bierwolf, S. 2–7.

## Editorial

**D**as bleibt wohl keinem MIKROKOSMOS-Leser verborgen: Dieses Heft ist farbig, und das nicht nur auf dem Umschlag, sondern auch im Inneren. Somit haben wir, die Redaktion und der Verlag, es nun geschafft, einen seit vielen Jahren gehegten Wunsch der Leserschaft – und natürlich auch der Redaktion – zu realisieren. Vielleicht war ja der 100. Geburtstag unserer Zeitschrift im vergangenen Jahr ein Ausschlag gebendes Ereignis dafür.

Vor einigen Jahren wäre diese Entscheidung nicht möglich gewesen, ohne den Abonnementpreis zu verdoppeln oder gar zu verdreifachen. Das wäre dann der Todesstoß für unsere Zeitschrift gewesen, die ohnehin auch bislang nicht gerade zu den Billigproduktionen zählt. Daher haben sich die Redaktion sowie der Verlag über längere Zeit zurückgehalten, diese Alternative näher in Erwägung zu ziehen.

Unterdessen hat sich – unseren Lesern und Autoren zum Vorteil – die Herstellungstechnik grundlegend verändert, so dass wir ab diesem Jahr auch den Innenteil unseres MIKROKOSMOS farbig gestalten können, und das zu einem angemessenen Preis. Sicher, eine Aufstockung des Abonnementpreises ist unumgänglich. Aber diese ist moderat und kann wohl kaum Anlass zu ernsthaftem Unmut geben.

Wenn von nun an auch der Innenteil unserer Zeitschrift farbig ist, heißt das allerdings nicht, dass automatisch und ausnahmslos alle bildlichen Darstellungen in Farbe kommen müssen und werden. Jedem Autor, der seinen Beitrag in Schwarz-Weiß bebildert haben möchte, werden wir das natürlich ermöglichen. Umgekehrt behält sich die Redaktion das Recht vor, farbig eingereichte Artikel in Schwarz-Weiß zu transformieren, wenn die Abbildungen lediglich bunt sind und keine Sachinformation vermitteln. So weisen wir bereits an dieser Stelle vorsorglich

darauf hin, dass es sicherlich keine Publikation geben wird, die, so schön das auch immer sein mag, beispielsweise eine farbenprächtige Vielzahl von Polarisationsbildern beinhaltet, ohne dass eine ernsthafte Thematik dahinter steht. Bunte Bilder alleine werden keine Berücksichtigung finden. Ausnahmen sind natürlich Einreichungen von Vorschlägen für unsere Rubrik Mikro-Galerie. Da muss kein Thema ausführlich behandelt, aber ein wirklich exquisiter Bildvorschlag eingereicht werden.

Nach dieser vorsorglich erfolgten Klarstellung gleich von Anfang an möchte die Redaktion erneut darauf hinweisen, dass bei Einreichung von Manuskripten unsere Hinweise für Autoren auf der Innenseite des hinteren Heftumschlags zu berücksichtigen sind.

Schließlich ist in der Redaktion beschlossen worden, dass zugunsten der Themenvielfalt in einem Heft künftig keine überlangen Artikel mehr berücksichtigt werden können. Das bedeutet, dass bei 1,5fachem Zeilenabstand und einer 12-Punkt Schriftgröße ein Manuskript einschließlich der Literaturhinweise und Bildlegenden nicht länger als 10 Seiten sein und der Abbildungsanteil dabei insgesamt vier Druckseiten nicht überschreiten darf. Jeder Autor kann leicht errechnen, wie viel Platz seine Bilder beanspruchen, wenn man die in den Hinweisen vorgegeben Bildgrößen zugrunde legt.

Nun ist also auch für den MIKROKOSMOS die Farbe eine Realität, wie es, um Eckpunkte zu nennen, seit nunmehr über 40 Jahren beim Fernsehen in Deutschland und seit einigen Jahren bei fast allen Tageszeitungen der Fall ist. So starten wir nun unter diesen erfreulichen Vorzeichen in das neue MIKROKOSMOS-Jahrhundert in der Hoffnung, dass unsere Zeitschrift nicht nur überlebt, sondern weiterhin blüht und gedeiht.

Klaus Hausmann  
Herausgeber MIKROKOSMOS

# Reproduktionsstrategien und Embryonalentwicklung der Daphniidae – Eine Fotodokumentation

Jeanette Bierwolf

Cladoceren gehören weltweit zur bedeutendsten Gruppe von Zooplanktern in Süßwasser, wobei hier in erster Linie die Gattung *Daphnia* zu nennen ist. *Daphnia* gilt als Schlüsselorganismus limnischer Lebensräume. Mehr als 200 Arten sind bisher beschrieben. Ihr ökologischer Erfolg und ihre globale Präsenz im Ökosystem Wasser beruht insbesondere auf der Reproduktionsstrategie der Tiere, dem Wechsel zwischen geschlechtlicher und ungeschlechtlicher Vermehrung (Heterogonie). Diese Fotodokumentation soll darstellen, wie sich Daphnien den wechselnden Umweltbedingungen in ihrem Habitat mit Hilfe geschickter Fortpflanzungsstrategien angepasst haben. Aufgrund der Transparenz ihrer Cuticula konnte zudem die Embryonalentwicklung ausführlich dokumentiert werden.

**D**aphnien gehören von ihrer Ernährungsweise her zu den Filtrierern (Strudlern). Mit ihrem Filtrierapparat entnehmen sie dem Wasser suspendierte Algen und Bakterien und haben so einen großen Einfluss auf die Zusammensetzung des Phytoplanktons. Zudem sind Wasserflöhe durch ihre Filtrierfähigkeit in der Lage, in stark eutrophierten Gewässern Klarwasserstadien herbeizuführen und aufrechtzuerhalten (Schönfelder und Gläser, 1995). Auf der anderen Seite stellt *Daphnia* selbst die Hauptnahrungsquelle für verschiedene Fischarten, aquatische Insektenlarven und Amphibien dar. Aus taxonomischer Sicht ordnet sich die Gattung *Daphnia* ein, wie in Tabelle 1 dargestellt. Das Erkennen von Arten innerhalb der

Gattung *Daphnia* gestaltet sich aufgrund von Zyklomorphosen (morphologischen Veränderungen im Jahresverlauf) und Hybridbildung zwischen vielen Arten eher schwierig.

Die Lebenserwartung wird in der Literatur mit 50–85 Tagen angegeben, was einen raschen Generationszyklus erfordert.

Daphnien vermehren sich zyklisch parthenogenetisch (über unbefruchtete Eier), was eine sehr schnelle Fortpflanzung ermöglicht. Dabei ist der Wechsel zwischen eingeschlechtlicher und zweigeschlechtlicher Fortpflanzung innerhalb einer Generation möglich. Durch die Regulierbarkeit dieser Heterogonie kann so die Populationsdichte den aktuellen Bedingungen im Habitat kurzfristig angepasst werden.

**Tabelle 1: Taxonomische Einordnung der Gattung *Daphnia* (nach NCBI taxonomy database).**

Stamm	Arthropoda (Gliederfüßer)
Unterstamm	Crustacea (Krebstiere)
Klasse	Branchiopoda
Unterklasse	Phyllopoda (Blattfußkrebse)
Ordnung	Cladocera (Wasserflöhe)
Unterordnung	Anomopoda (Ungleichfüßer)
Familie	Daphniidae
Gattung	<i>Daphnia</i>

II 90372  
O.Ö. LANDESMUSEUM  
BIBLIOTHEK



### Eingeschlechtliche Fortpflanzung mittels Jungfernzeugung (Parthenogenese)

Unter konstant günstigen Umweltbedingungen findet die eingeschlechtliche Vermehrung statt, und man trifft in der Regel ausschließlich Weibchen an. Ein Reproduktionszyklus beginnt mit der Häutung des Muttertieres. Über die Ovidukte (Eileiter) erfolgt der Transport der Jungferneier (Subitaneier) von den um den Darm liegenden paarigen Ovarien in den dorsal gelegenen Brutraum, noch bevor der Carapax vollständig ausgehärtet ist. Die Jungferneier sind dotterarm und leiten sich aus einer Eizelle und drei Nährzellen ab. Im Brutsack vollzieht sich die in etwa drei Tage andauernde Embryonalentwicklung der Subitaneier bis zur Entlassung der fertigen Jungtiere (Abb. 1–6; Zaffagnini, 1987). Der Brutraum ist caudal (Richtung

Hinterende) durch zipfelig ausgezogene Anhänge des Postabdomens begrenzt, dem so genannten Verschlussapparat. Aus diesem werden die vollständig entwickelten Jungtiere entlassen, kurz bevor sich das Muttertier wiederum häutet (Abb. 7–10; Jaksch, 1992). Unter optimalen Bedingungen kann eine weibliche Daphnie auf diese Weise alle drei Tage eine neue Brut anlegen. Die Jungtiere sind nach dem Entlassen sofort selbstständig. Die Geschlechtsreife tritt nach etwa fünf Häutungen ein.

Über die Gelegegröße existieren recht unterschiedliche Angaben. Im Allgemeinen wird in der Literatur von einer Gelegegröße bis zu 20 Eiern berichtet. Gläser und Schönfelder (1995) identifizierten innerhalb der Art *Daphnia curvirostris* sogar Weibchen mit bis zu 50 Subitaneiern im Brutraum. Die Gelegegröße der parthenogenetisch erzeugten Weibchen liegt in der

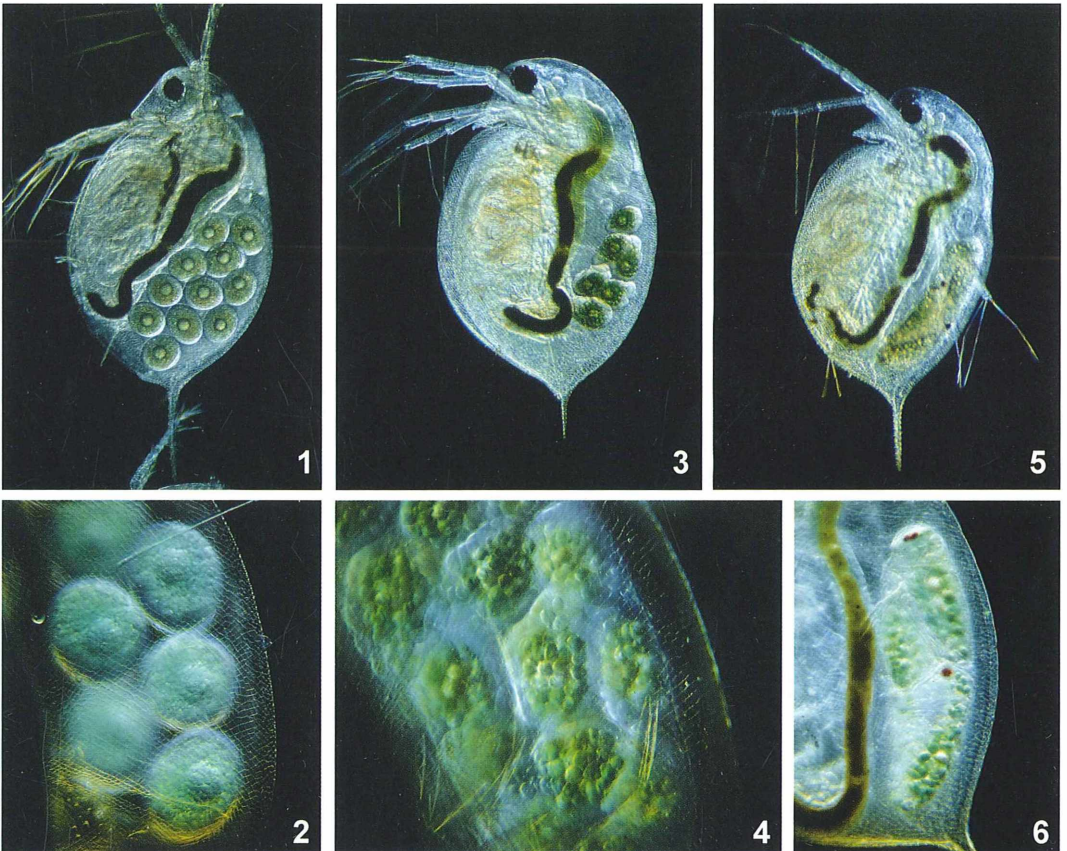
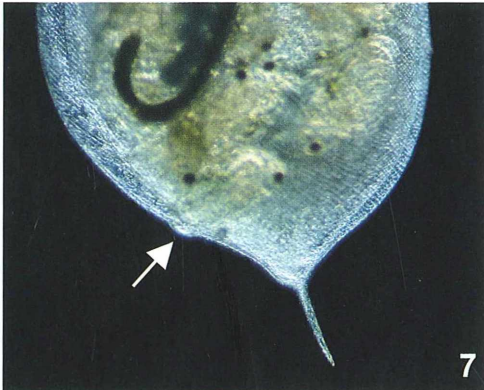
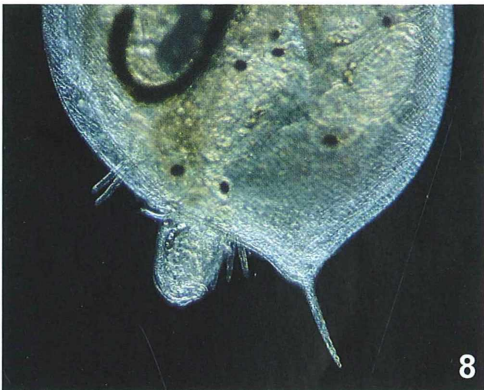


Abb. 1–6: Verschiedene Stadien der Ei- beziehungsweise Embryonalentwicklung in einer Daphnie. – Abb. 1 und 2: Ungefurchte Eizellen. – Abb. 3 und 4: Morulastadium (Maulbeerkeim). – Abb. 5 und 6: Jungtiere mit ersten Organen; auffällig sind die Augen.

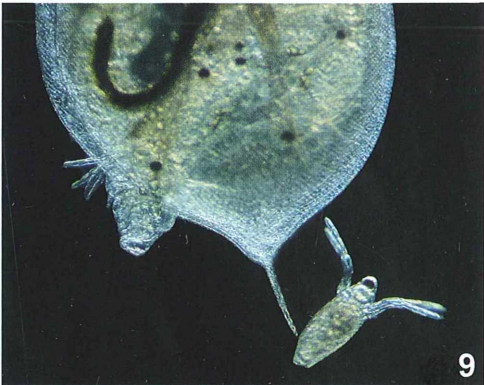




7



8



9



10

Regel weit unterhalb der Eizahl, die durch sexuelle Reproduktion entstandene Weibchen im Brutraum tragen. Die Fruchtbarkeit der parthenogenetischen Weibchen wird zudem umso geringer, je weiter sie sich in der Generationsfolge vom Sexualakt entfernen. Dieser Fakt gibt Aufschluss über die Bedeutung der bisexuellen Fortpflanzung und die Auswirkungen der Parthenogenese (Gläser und Schönfelder, 1995). Nach Fries (1964) korreliert die Eizahl pro Gelege positiv mit der Größe des Muttertieres, während sich die Eigröße innerhalb des Geleges negativ zur Gelegegröße verhält. Diese Angaben wurden bis heute nicht widerlegt.

Laut Tessier und Goulden (1982) bestimmt die vom Muttertier während eines Reproduktionszyklus aufgenommene Nährstoffmenge bei der Anlage von parthenogenetischen Eiern die Gelegegröße, wobei insbesondere die aufgenommenen Fettsäuren für die Reproduktion verwendet werden. Diese Vermutung wurde durch die Untersuchungen von Lynch (1989) bestätigt, wonach ein großer Teil der aufgenommenen Nahrungsenergie selbst bei Nahrungsmangel in die Ovarien transferiert wird, wo sie als Nährstoffspeicher dem Nachwuchs zur Verfügung steht. Neuere Untersuchungen belegen zudem einen erheblichen Einfluss des Faktors Temperatur auf die Gelegegröße (Weiler, 2001). Sehr große Gelege stehen demzufolge im Zusammenhang mit eher niedrigen Wassertemperaturen (um 10 °C).

Die Subitaneier entstehen durch Unterdrückung der Meiose, jedes Ei enthält mit dem doppelten Chromosomensatz ( $2n$ ) 20 Chromosomen (Körperleinen et al., 1997). Aus den Embryonen entwickeln sich unter normalen Bedingungen ausschließlich Weibchen, die mit dem Muttertier genetisch identisch sind (Klone). Nur unter ungünstigen Umweltverhältnissen entstehen aus einigen Eiern männliche Tiere, die an ihrer geringeren Größe und den längeren Antennen zu erkennen sind. Als

◀ **Abb. 7–10: Stadien der Geburt von jungen Daphnien (Naupliuslarven) aus dem Brutraum der Mutter.** – Abb. 7: Eine erste Vorwölbung (Pfeil) ist sichtbar. – Abb. 8: Das erste Jungtier schaut mit dem Hinterende hervor. – Das zweite Jungtier folgt, während das erste schon umherschwimmt. – Abb. 9: Naupliuslarve in höherer Vergrößerung. Deutlich sichtbar sind die Ruderaantennen und das Naupliusauge.

ungünstig werden von Hobeak und Larsson (1990) eine hohe Individuendichte, Nahrungsmangel und physikalische beziehungsweise chemische Umwelteinflüsse genannt. Im parthenogenetischen Gelege eines *Daphnia*-Weibchens können sich nach Gläser und Schönfelder (1995) Embryonen beider Geschlechter nebeneinander entwickeln. Die Männchen unterscheiden sich lediglich phänotypisch von den Weibchen, nicht aber genetisch. Geschlechtschromosomen spielen hier also keine Rolle. Der Vorteil dieser ungeschlechtlichen Fortpflanzung ist darin zu begründen, dass die Populationsdichte innerhalb kürzester Zeit maximiert werden kann. *Daphnia* erreicht dementsprechend eine außergewöhnlich hohe Individuenzahl in stehenden oder langsam fließenden Gewässern. Der Fakt, dass sich alle Tiere an der Reproduktion beteiligen, erhöht die Geburtenrate zusätzlich. Zudem kann mit Hilfe der parthenogenetischen Fortpflanzung ein einzelnes Individuum eine Population gründen, was in der Besetzung neuer Habitate von entscheidendem Vorteil ist.

### Sexuelle Fortpflanzung

Unter ungünstigen Lebensbedingungen (kurz vor Einsetzen der kalten Jahreszeit) findet zudem die bisexuelle Reproduktion statt. Hierbei werden vom Weibchen haploide, nährstoffreiche Latenziere produziert, die vom Männchen mit haploiden Spermien befruchtet werden müssen. Bei der Kopulation schiebt das Männchen sein Rumpfende zwischen die Schalenklappen des Weibchens bis in dessen dorsalen Brutraum, in welchem die weiblichen Geschlechtsöffnungen liegen.

Daphnien bilden zum Zwecke der sexuellen Vermehrung ein hochentwickeltes, sattelförmiges Gebilde (Ephippium), welches sich aus dem modifizierten dorsalen Carapax des Muttertieres ableitet (Abb. 11). Der Carapax wird innerhalb der Gattung *Daphnia* an dieser Stelle zudem um ein Vielfaches verdickt und mit gasgefüllten Kammern als Auftriebsorgane versehen. Während der Häutung des Muttertieres wird das Ephippium mit den befruchteten Latenziern frei, indem der restliche Carapax an einer präformierten Bruchstelle abreißt (Abb. 12; Jaksch, 1992). Die Anzahl der produzierten Dauereier ist umweltunabhängig und bei den Daphniiden meist auf zwei Eier pro Häutungs-

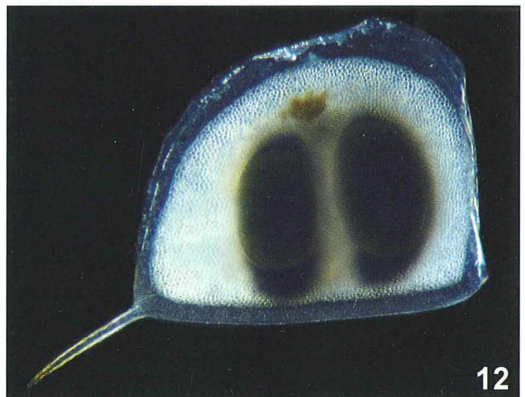
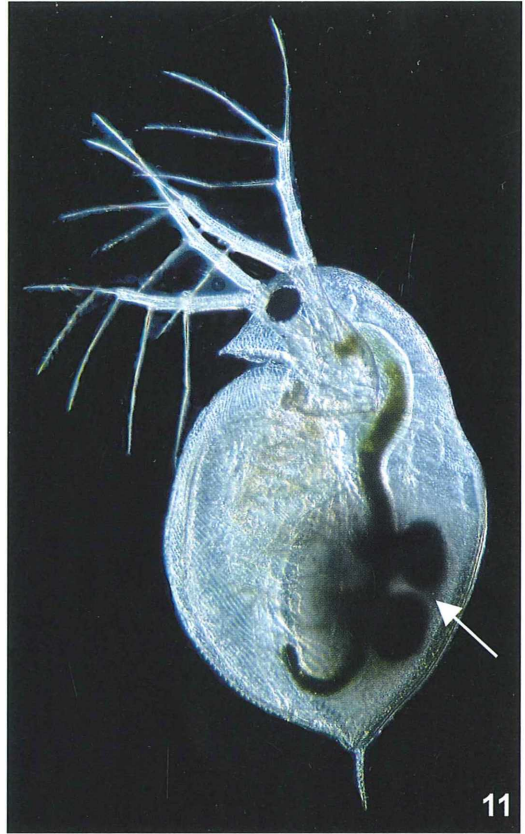


Abb. 11: Adulte weibliche Daphnie mit einem dorsalen Ephippium (Pfeil). – Abb. 12: Freies Ephippium mit zwei Dauereiern.

intervall beschränkt. Bei Cladoceren mit Primitivephippium (Bosminidae, Moinidae) ist die Anzahl an Dauereiern variabler. Daphniiden-Ephippien sind als schwarze Körnchen auf der Wasseroberfläche schwimmend mit bloßem



Auge erkennbar. Die Dauereier einiger weniger Arten besitzen lediglich reduzierte Auftriebskörper (Jaksch, 1992). Diese sinken direkt nach der Häutung des Muttertieres auf den Grund der Gewässer und reichern sich dort im Sediment an (Brown und Venable, 1986). Das Schlüpfen der Embryonen aus dem Ehippium wird durch osmotisch bedingte Wasseraufnahme eingeleitet. Durch das Aufquellen seiner Cuticula wird das Jungtier aus der Schale des Eies herausgedrückt.

Der Vorteil solch hochspezialisierter Dauereier liegt in ihrer extremen Resistenz gegenüber störenden Umweltbedingungen. So können Ehippium jahrelange Austrocknung und starke Temperaturschwankungen überdauern. Zudem werden die Latenzier leicht durch Wassergeflüge und wandernde Tiere auf andere Gewässer übertragen, was eine Erschließung neuer Habitate ermöglicht (Dodson und Frey, 1991). Ein weiterer Vorteil liegt in der Rekombination des Erbgutes und der daraus folgenden verbesserten Anpassung an Veränderungen im Habitat (Jankowski und Straile, 2004).

Laut einer Studie der Max-Planck-Gesellschaft beeinflussen weibliche Daphnien die Bereitschaft ihrer durch Parthenogenese produzierten Nachkommen in die sexuelle Reproduktion überzugehen, indem sie ihren Töchtern über das Ei Informationen bezüglich der Nahrungsmenge und Tageslichtlänge weitergeben. Somit wird dem Nachwuchs die Möglichkeit gegeben, sich mit Hilfe verschiedener Fortpflanzungsstrategien an die jeweilige Jahreszeit anzupassen (Alekseev und Lampert, 2001).

## Abschließende Worte

In nahezu allen limnischen Habitaten sind die bewohnenden Organismen sich ständig verändernden abiotischen (z.B. Temperatur, Tageslichtlänge) und biotischen (z.B. Nahrung) Umweltbedingungen ausgesetzt. Daher ist das Habitat für einen Organismus oft nur zeitlich begrenzt nutzbar. Die Anpassung an veränderte Bedingungen geschieht in außerordentlich vielfältiger Weise. Die Daphniiden haben sich im Laufe der Evolution neben ihren morphologischen und verhaltensökologischen Eigenschaften auch in ihrer Fortpflanzung angepasst. Ihr Generationswechsel vereint die Vorteile beider Fortpflanzungsarten in sich. Ihre flexiblen Reproduktionsmöglichkeiten haben daher sicher-

lich entscheidend dazu beigetragen, im Ökosystem Wasser zu bestehen.

## Material und Methoden

Das Untersuchungsmaterial stammt aus dem südöstlich von Berlin gelegenen Landschaftsschutzgebiet Erptal. Die Daphnien wurden zu Hause in einem 25-Liter-Aquarium ohne Bepflanzung und Untergrund gehalten und vermehrt. Die Ernährung erfolgte abwechselnd mittels aufgeschlämmter Bäckerhefe und Microzell. Die Produktion von Dauereiern wurde durch eine Verkürzung des Tageslichteinfalls und die steigende Populationsdichte induziert. Für die mikroskopischen Aufnahmen wurden folgende Geräte verwendet: Mikroskop SM (Hersteller Leitz Wetzlar) und Digitalkamera Sony DSC-P93 über Leitz-Fotookular adaptiert.

## Literaturhinweise

- Alekseev, V., Lampert, W.: Maternal control of resting-egg production in *Daphnia*. *Nature* 414, 899 (2001).
- Brown, J. S., Venable, D. L.: Evolutionary ecology of seed-bank annuals in temporally varying environments. *Am. Nat.* 127, 31–47 (1986).
- Dodson, S. I., Frey, D. G.: Cladocera and other Branchiopoda. In: Thorp, J. H., Covich, A. P. (eds.): *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates*, pp. 723–786. Academic Press, New York 1991.
- Fries, G.: Über die Einwirkung der Tagesperiodik und der Temperatur auf den Generationswechsel, die Weibchengröße und die Eier von *Daphnia magna* Straus. *Zoomorphology* 53, 475–516 (1964).
- Füller, H., Grunter, H.-E., Hartwich, G., Kilius, R., Moritz, M.: *Urania Tierreich in sechs Bänden, Wirbellose Tiere 2. Urania*, Leipzig 1994.
- Gläser, H.-J., Schönfelder, J.: Zur Faunistik, Biologie und Ökologie der Wasserflöhe (Crustacea, Cladocera) der Havelaue – ein Beitrag für einen ökosystemaren Restaurationsansatz. *Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg* 1, 42–54 (1995).
- Hobaek, A., Larsson, P.: Sex determination in *Daphnia magna*. *Ecology* 71, 2255–2268 (1990).
- Jaksch, H.: Vergleichende Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen an Daphniidae (Cladocera; Crustacea) Ostösterreichs (Burgeländischer Seewinkel, Auegebiete östlich von Wien); Erfassung der Ehippial- und Revision der Carapaxskulpturen. Dissertation, Universität Wien, 1992.
- Jankowski, T.: From diapause to sexual reproduction evolutionary ecology of the hybrid complex from Lake Constance. Dissertation, Universität Konstanz, 2003.



- Jankowski, T., Straile, D.: Allochronic differentiation among *Daphnia* species, hybrids and backcrosses: the importance of sexual reproduction for population dynamics and genetic architecture. *J. Evol. Biol.* 17, 312–321 (2004).
- Körperleinen, H., Ketola, M., Hietala, J.: Somatic polyploidy examined by flow cytometry in *Daphnia*. *J. Plankt. Res.* 19, 2031–2040 (1997).
- Lynch, M.: The life history consequences of resource depression in *Daphnia pulex*. *Ecology* 70, 246–256 (1989).
- Storch, V., Welsch, U., Kükenthal, W.: Kükenthal Zoologisches Praktikum, 25. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2005.
- Tessier, A. J., Goulden, C. E.: Estimating food limitations in cladoceran populations. *Limnol. Oceanogr.* 27, 707–717 (1982).
- Weiler, W.: Die Relevanz von Fettsäuren in der Ernährung von Daphnien. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin, 2001.
- Zaffagnini, F.: Reproduction in *Daphnia*. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 45, 245–284 (1987).
- Verfasserin:* Jeanette Bierwolf, Kollanstraße 100, 22453 Hamburg, E-Mail: [bierwolf@gmx.de](mailto:bierwolf@gmx.de)

## Nachricht

### Viertes Treffen des Mikroskopie-Forums in Darmstadt

Forumtreffen Nr. 4 – man könnte schon fast von Tradition sprechen ... Als vor über vier Jahren Gerald Heibig und Detlef Kramer die Idee hatten, aus der Anonymität des „Posting“ bei [www.mikroskopie.de](http://www.mikroskopie.de) herauszutreten und ein Treffen für interessierte Forumnutzer zu planen, war dies nicht notwendigerweise als Dauereinrichtung geplant. So traf man sich im Jahre 2004 in kleiner Runde (17 Teilnehmer) in Darmstadt in den Räumen der Technischen Universität. Die Erfahrung war so positiv, dass der Abschiedssatz von Detlef Kramer *Vielleicht bieten wir so etwas auch im nächsten Jahr an* Hoffnung auf ein da capo weckte. Dieses „Vielleicht“ kam bei den Abschiedssätzen des diesjährigen Treffen nicht mehr vor: Wir sprechen also nun von Tradition!

Was ist es überhaupt, das dieses Treffen auszeichnet und von anderen Mikroskopikertreffen mit gehörig längerer Tradition unterscheidet? Die Ursprungsidee war ja, sich mal live zu treffen, sich ohne das anonymisierende Interface „Computer im WEB“ zu unterhalten und kennen zu lernen. Es musste natürlich etwas Programm geben, aber die Begegnung stand im Vordergrund. Und dies ist heute immer noch so. Die Organisatoren achten darauf, dass das Programm nicht zu dicht wird, um dem spontanen Erfahrungsaustausch Raum zu lassen. Das unterscheidet dieses Treffen von anderen. Und die Referenten kommen alle aus dem Kreis der sich treffenden Mikrofreunde, alle, bis auf ... Seit 2006 haben wir das Glück, dass uns Professoren der TU Darmstadt



Abb. 1: Es gab viel zu entdecken rund um den Reinheimer Teich.

einen kleinen Einblick in ihre aktuellen Forschungsthemen geben. Wir wünschen uns, dass dieser Programmpunkt auch Tradition wird. Ein weiteres Charakteristikum ist das Altersspektrum der Teilnehmer. Die Altersgruppe „bis 40“ war bisher in jedem Jahr nennenswert vertreten, in diesem Jahr hatten wir auch (wieder einmal) einen Teilnehmer, der jünger als 20 war. So kamen vom 15. bis 17. Juni 36 Mikrofreunde nach Darmstadt, einige begleitet von ihren Ehefrauen, um sich (wieder) zu treffen, Erfahrungen auszutauschen und neue Impulse aus dem abwechslungsreichen Programm mitzunehmen. Wieder waren auch neue Gesichter unter den Teilnehmern. Nach der Begrüßung durch Dr. Detlef Kramer (im Namen der TU Darmstadt) begann die Vortragsreihe mit einem hochinteressanten und spannend vorgetragenen Referat von Prof. Dr. Markus Engstler, der seine neuesten Forschungen über das Leben der Trypanosomen (Erreger der Schlafkrankheit) im Blut der Menschen vorstellte. Er brachte den teilweise schwierigen Stoff sehr anschaulich und dynamisch rüber. Weiter zeigte er uns einen neuen Mikroskoptyp, an dessen Entwicklung er beteiligt ist (<http://www.till-photonics.com/Products/imic.php>). Dieser Typ ist modular konstruiert, es lassen sich damit (je nach Ausbau) alle modernen lichtmikroskopischen Verfahren realisieren. Dann ging es weiter mit Dr. Kramers Vortrag über Blattanatomie und den Anpassungen, die sich dabei zum Zwecke der kontrollierten Wasserverdunstung für die unterschiedlichen Standorte entwickelt haben. Danach konnte man Handschnitte mit der Rasierklinge üben; aus dem Botanischen Garten waren entsprechend Blätter von Beispielpflanzen bereitgestellt worden. Es entwickelte sich eine interessante Fachsimpelei über unterschiedliche Schnitttechniken und die Vorzüge von dieser oder jener Klingenhalterkonstruktion. Die Stunden vergingen wie im Fluge. Gegen 17.00 Uhr war es Zeit, den traditionellen Spaziergang durch den schönen Institutsgarten mit seinem 100-jährigen Baumbestand zu starten. Der Wettergott zeigte sich den Mikroskopikern wohlgesonnen, denn nach heftigen Regenfällen am Nachmittag schien die Sonne. Auch an den folgenden Tagen machte der Regen immer dann eine Pause, wenn Freilandaktivitäten auf unserem Programm standen. Am Freitagabend ging es dann, wie schon die beiden Jahre zuvor, nach Groß-Umstadt ins Tagungshotel Brüder Grimm, wo uns Dr. Ralf Nötzel nach dem Abendessen die interessante Geschichte seiner Suche nach dem Fundort der endemischen Diatomee *Pyrgodiscus armatus* erzählte, die auch der bekannte Diatomeenpräparator J. D. Möller aus Wedel bei Hamburg Ende des 19. Jahrhunderts in Typenplatten gelegt hatte, die aber seither nirgendwo mehr aufgefunden worden war. Dr. Nötzel hat den Aufschluss vor ein paar Jahren wieder entdeckt und Proben genommen. Das Gelände in Brno (ehemals Brunn) ist inzwischen bebaut wor-

den. Jeder Teilnehmer erhielt als Erinnerung ein Streupräparat aus der Probe.

Am Samstagvormittag begab sich die Gruppe unter der Leitung von Detlef Kramer und Siegmund Dehmer auf eine kurze Wanderung im Gebiet des Reinheimer Teiches. Wir kamen an einer alten Scheune vorbei, auf welcher ein bewohntes Storchennest und Störche zu sehen waren und nahmen Proben in Kleinteichen einer Renaturierungsfläche.

Zu Beginn des Nachmittagsprogramms zeigte uns Gerd Günther, wie man eine digitale SLR ergonomisch ans Mikroskop montiert, so dass man das Ergebnisbild im Sitzen überprüfen und auch sonst alle Einstellknöpfe gut bedienen kann, weil die Konstruktion mit einem 90°-Umlenkspiegel arbeitet. Die Adaption ist sowohl (ohne Okular) bei Geräten mit Unendlich-Optik als auch (mit Okular) bei den älteren Geräten mit Endlich-Optik anwendbar.

Danach war ausgiebig Gelegenheit, die Artenvielfalt in den Proben zu bewundern, über Details bei der Kamera-Adaption zu sprechen oder sich einfach über die vielen Themen der Mikroskopie zu unterhalten. Von Zieralgen, Grünalgen, Diatomeen bis hin zu Schalenamöben, Heliozoen, Ciliaten, Rädertieren und Crustaceen war alles vorhanden. Parallel dazu bot Helmut Ullrich einen Workshop zur Diatomeenpräparation an, und Wolfgang Bettighofer erklärte Interessierten, welche Hilfsmittel zur Verfügung stehen, um maßstabsgerecht am Mikroskop zu zeichnen, und wie man dabei die Technik der digitalen Bildbearbeitung einsetzen kann. Am Samstagabend überraschte uns auch dieses Jahr wieder Thomas Schaefer mit neuen Zauberkünsten aus der breiten Palette seines Könnens. Der Sonntagvormittag brachte weitere interessante Vorträge aus dem biologischen und materialkundlichen Bereich. Martin Schneider informierte uns über die unterschiedlichen Lebensweisen und Schalentypen der Testaceengruppen, und Ulrich Hageroth führte uns in die Welt der textilen Faserstoffe (Natur- und Chemiefasern) ein und zeigte uns exemplarisch, wie man mittels mikroskopischer Verfahren Faserschäden analysieren kann. Wer keinen zu weiten Weg nach Hause vor sich hatte, traf sich zum Abschluss noch zum Mittagessen im Waldrestaurant Fischerhütte. Die anderen sattelten zur Heimfahrt. Das Echo war durchwegs positiv, und so wird es auch 2008 wieder ein Treffen in Darmstadt geben. Wir freuen uns darauf!

Die Internet-Adresse des Mikroskopieforums lautet [www.mikroskopie-forum.de](http://www.mikroskopie-forum.de). Dort wird unter der Rubrik „Mikro-Termine“ üblicherweise ab Dezember der Termin für das Treffen des nachfolgenden Jahres bekannt gegeben. Dort werden auch die nötigen Informationen zur Anmeldung bereitgestellt.

Wolfgang Bettighofer, Rutkamp 64, 24111 Kiel  
E-Mail: [wolfgang.bettighofer@gmx.de](mailto:wolfgang.bettighofer@gmx.de)

# Unfreiwillige Passagiere oder versteckte Eiräuber? Muschelkrebse und Wasserflöhe im Brutraum des Flossenflohs *Limnadia lenticularis*

Andreas Martens, Joachim Leicht und Karsten Grabow

Urzeitkrebse sind populär, ihr unregelmäßiges Auftreten entzieht sie jedoch häufig gezielten Untersuchungen in der Natur. Im Mai 2006 bot sich infolge eines länger anhaltenden Rheinhochwassers die Möglichkeit, in Qualmwassertümpeln am Oberrhein südlich von Karlsruhe den Muschelschaler *Limnadia lenticularis* zu studieren. Dabei fanden sich wiederholt Wasserflöhe und Muschelkrebse im Brutraum der Tiere.

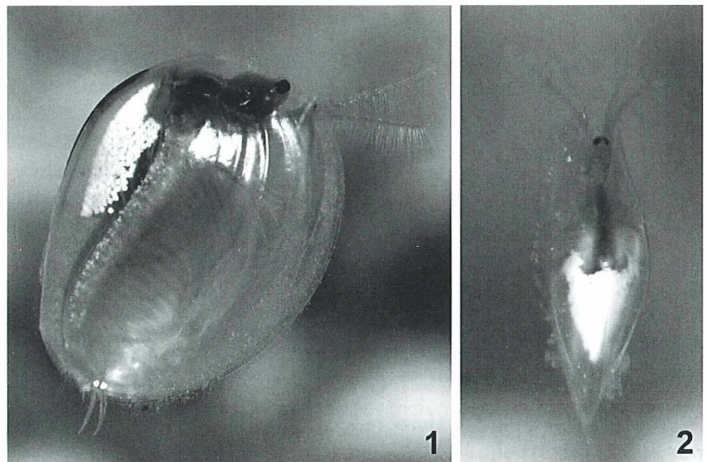
**D**er Muschelschaler *Limnadia lenticularis* ist ein Bewohner von ephemeren, das heißt kurzfristig existierenden Kleingewässern. Er tritt in Tümpeln und auf überschwemmten Wiesen auf (z.B. Herbst, 1962), ebenso vereinzelt in Vorstreckteichen für Karpfen (Langner, 1985). Muschelschaler (Conchostraca) sind unter den Urzeitkrebsen die am wenigsten bekannte Gruppe, weil sie im Gegensatz zu den Feenkrebse (Anostraca) und den Rückenschälern (Notostraca) nicht gehandelt werden. Die Muschelschaler gehören zu den Blattfußkrebsen und gelten als Ausgangsgruppe der Wasserflöhe (Cladocera).

## Der Flossenfloh: Merkmale und Verbreitung

*Limnadia lenticularis* besitzt einen durchsichtigen, an eine Muschelschale erinnernden zweiklappigen Carapax, der den ganzen Körper bedeckt. Der Habitus ähnelt einem übergroßen Wasserfloh, die Tiere können bis 20 mm Körpergröße erreichen (Geissert, 1961). Die Anzahl der Beinpaare wächst mit jeder Häutung und liegt zwischen 10 und 30. Die Art ist überwiegend parthenogenetisch, das Vorkommen männlicher Individuen und damit die sexuelle Fortpflanzung ist erst vor kurzer Zeit in Österreich festgestellt worden (Eder et al., 2000). Die

**Abb. 1:** Parthenogenetisches Weibchen von *Limnadia lenticularis* mit einem Eigelege im Brutraum. –

**Abb. 2:** Eitragende Tiere sind im Tümpel besonders auffällig.





Weibchen tragen auffällig helle Eipakete in einem Brutraum unter dem Carapax (Abb. 1), die sie jeweils mit der nächsten Häutung abgeben.

*Limnadia lenticularis* kommt zerstreut in Europa vor. Das Areal reicht von Ostfrankreich bis ans Kaspische Meer und vom südlichen Skandinavien bis Sardinien (Brtek und Thiéry, 1995). Nach historischen Angaben trat die Art in ganz Deutschland auf (Zusammenstellung in Herbst, 1962). Aktuellere Vorkommen sind aus Fischteichen in Sachsen (Langner, 1985) sowie der Aue des mittleren und nördlichen Oberrheins in Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg bekannt (Rieder et al., 1979; Simon, 1988). Die Art gilt als Sommerart und tritt von April bis Oktober auf (z.B. Herbst, 1962). Häufig ist sie mit *Triops cancriformis* vergesellschaftet (z.B. Rieder et al., 1979).

### Mit dem Küchensieb im Maisacker

Im April und Mai 2006 hatte der Oberrhein eine länger anhaltende Hochwasserperiode. Das Wasser stand bis dicht an die Deichkronen und in vielen Bereichen des Hinterlandes bildeten sich auf Äckern und Wiesen südlich von Karlsruhe Qualmwassertümpel (Abb. 3). Wir fanden dort *Triops cancriformis* und *Limnadia lenticularis*. Bei genauer Betrachtung stellten wir bei einem Exemplar von *L. lenticularis* fest, dass sich ein Tier in dessen Brutraum befand. Wir nahmen diese Beobachtung zum Anlass, dem Phänomen gezielt nachzugehen.

Im klaren Wasser waren schwimmende Muschelschalen gut zu erkennen und leicht mit dem Küchensieb zu fangen. Sie schwammen, mit dem Rücken nach oben, ausdauernd im Wasserkör-

per zwischen den überfluteten Grashalmen umher. Individuen mit hellgelben Eipaketen unter dem durchsichtigen Carapax waren dabei besonders auffällig (Abb. 2). Auf Störungen reagierten alle Tiere mit einem Totstellreflex. Sie stellten ihre Schwimmbewegungen ein und sanken auf den Grund, wo sie seitlich liegen blieben. Die reiche Tierwelt der Tümpel wurde in Fotoschalen genauer betrachtet. Dabei fanden wir am 2. Mai 2006 ein Exemplar von *L. lenticularis*, das in seinem Brutraum deutlich sichtbar ein Tier enthielt, das an eine Larve eines Phyllopoden erinnerte. Bei der weiteren Suche fanden wir Tiere, die sich eindeutig zuordnen ließen. In zwei Fällen handelte sich um den Wasserfloh *Simocephalus* sp., in einem um den auffällig grün gefärbten Muschelkrebs *Cypris puperba* (Abb. 4). Beide Wasserflöhe wurden nach einer heftigen Krümmung des *Limnadia*-Abdomens herausgeschleudert.

Im Rahmen einer Wissenschaftlichen Hausarbeit (Leicht, 2007) wurden am 5. Mai 2006 in fünf Tümpeln zwischen Au am Rhein und Elchesheim-Illingen südlich von Karlsruhe insgesamt 901 Individuen von *L. lenticularis* gefangen, um Relationen zwischen Gewässertyp, Körpergröße und Eigelegegröße bei dieser Art zu untersuchen. Die Tiere wurden dazu in flachen Schalen fotografiert, die Maße später anhand der Digitalfotos ausgewertet. Die Fotografie wurde entscheidend durch den Totstellreflex der Tiere vereinfacht. Bei diesen Erhebungen fanden wir in drei Tümpeln weitere solche Fälle, in einer Häufigkeit von 0,8 bis 5,9% (Tab. 1). Mit schnell sinkendem Rheinwasserstand verschwanden die Tümpel innerhalb der folgenden Woche (Abb. 5).

### Gefangener oder Eierdieb?

Die Tümpel sind flach und damit warm, viele Tiere schlüpfen aus seit Jahren ruhenden Dauerstadien und entwickeln sich schnell. Die hohen Dichten nehmen weiter zu, wenn der Wasserspiegel sinkt und der Tümpel vor dem Austrocknen steht. Bei solchen Verhältnissen ist es nicht verwunderlich, dass ein Muschelschaler mit einer heftigen Körperbewegung einen Wasserfloh oder Muschelkrebs ansaugt und diesen in dem Raum zwischen Carapax und Rücken einzwängt. Damit wäre das Phänomen ein Resultat der hohen Dichte an Kleinkrebsen in solchen Gewässern.



Abb. 3: Lebensraum von *Limnadia lenticularis* am nördlichen Oberrhein.



**Tabelle 1: Vergleich der Individuenzahlen von *Limnadia lenticularis* und der Häufigkeit der Besetzung des Brutraumes durch Cladocera und Ostracoda an fünf Gewässern am Oberrhein südlich von Karlsruhe im Mai 2006.**

Tümpel	Fotografierte Exemplare von <i>Limnadia lenticularis</i>	mit Cladocera im Brutraum	mit Ostracoda im Brutraum	Häufigkeit des Auftretens (%)
Wiese	85	5	0	5,9
Hochsitz	168	4	2	3,6
Schilfröhricht	249	0	2	0,8
Maisacker	33	0	0	0,0
Pferdekoppel	17	0	0	0,0

**Abb. 4: Weibchen von *Limnadia lenticularis* mit einem Muschelkrebs im Brutraum. – Abb. 5: *Limnadia*-Friedhof bei Au am Rhein.**

Während die Wasserflöhe hieraus wohl kaum Vorteile ziehen können, ist es denkbar, dass die Muschelkrebse ihren Aufenthalt im Brutraum nutzen, um sich von den dort gesammelten Eiern zu ernähren. Bisher können wir nur belegen (Abb. 4), dass das Eipaket zumindest zerfleddert wird. Dass Muschelkrebse bedeutende Räuber von Conchostraca-Eiern sind, beschreiben Rieder et al. (1984).

Da es sich bei den beiden wieder ausgestoßenen Phyllopoden eindeutig um Wasserflöhe handelt, kann man ausschließen, dass es sich hier um die in hohem Maße ähnlichen Jungtiere der eigenen Art handelt. Eine Brutpflege im Sinne eines Schutzes der Larven, wie es bei Wasserflöhen

(Cladocera) weit verbreitet ist, ist bisher ausschließlich von dem tropischen Muschelschaler *Cyclestheria hislopi* bekannt (Olesen, 1999).

#### **Dank**

Wir danken Prof. Dr. Burkhard Scharf herzlich für die Nachbestimmung von *Cypris puperba*.

#### **Literaturhinweise**

Brtek, J., Thiéry, A.: The geographic distribution of the European branchiopods (Anostraca, Notostraca, Spinicaudata, Laevicaudata). *Hydrobiologia* 298, 263–280 (1995).

- Eder, E., Richter, S., Gottwald, R., Hödl, W.: First record of *Limnadia lenticularis* males in Europe (Branchiopoda: Conchostraca). *Journal of Crustacean Biology* 20, 657–662 (2000).
- Geissert, F.: Die elsässischen Standorte der *Limnadia hermanni*. Mitteilungen des badischen Landesvereins für Naturkunde und Naturschutz N.F. 8, 75–78 (1961).
- Herbst, V.: Blattfusskrebse (Phyllopoden: Echte Blattfüßer und Wasserflöhe). Kosmos-Verlag Franckh, Stuttgart 1962.
- Langner, N.: *Triops* und *Limnadia* – zwei seltene Arten niederer Krebse in den Teichen der Oberlausitz. *Natura Lusatica Bautzen* 9, 48–52 (1985).
- Leicht, J.: Der Urzeitkreb *Limnadia lenticularis* als Spezialist austrocknender Gewässer – von ökologischen Untersuchungen zum Unterrichtsthema. Wissenschaftliche Hausarbeit, Pädagogische Hochschule Karlsruhe 2007.
- Olesen, J.: Larval and post-larval development of the branchiopod clam shrimp *Cyclestheria hislopi* (Baird, 1859) (Crustacea, Branchiopoda, Conchostraca, Spinicaudata). *Acta Zoologica* (Stockholm) 80, 163–184 (1999).
- Rieder, N., Abaffy, P., Hauf, A., Lindel, M., Wesihäupl, H.: Funktionsmorphologische Untersuchungen an den Conchostracen *Leptestheria dahalacensis* und *Limnadia lenticularis* (Crustacea, Phyllopoda, Conchostraca). *Zoologische Beiträge N.F.* 28, 417–444 (1984).
- Rieder, N., Grössle, L., Havelka, P., Ott, H.: Über das Auftreten einiger seltenerer Blattfußkrebse im Raum Karlsruhe (*Triops cancriformis* Bosc., *Limnadia lenticularis* (Linnaeus), *Siphonophanes grubei* (Dybowski)). *Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwest-Deutschland* 38, 135–139 (1979).
- Simon, L.: Untersuchungen zu Vorkommen, Habitat und Gefährdung der Blattfuß-Krebse (Branchiopoda: Anostraca, Notostraca, Conchostraca) in Rheinland-Pfalz. *Naturschutz und Ornithologie in Rheinland-Pfalz* 4, 853–871 (1987).
- Verfasser:** Prof. Dr. Andreas Martens, Joachim Leicht, Dipl.-Biol. Karsten Grabow, Pädagogische Hochschule Karlsruhe, Bismarckstraße 10, 76133 Karlsruhe, Deutschland, E-Mail: [martens@ph-karlsruhe.de](mailto:martens@ph-karlsruhe.de), [Joachim\\_76@yahoo.de](mailto:Joachim_76@yahoo.de), [grabow@ph-karlsruhe.de](mailto:grabow@ph-karlsruhe.de)

## Nachricht

### Meeresbiologische Exkursionen des Hydra-Instituts für Meereswissenschaften 2008



Mittlerweile blickt das private Lehr- und Forschungszentrum Hydra auf 12 erfolgreiche Saisons zurück, in der neben viel Forschung, Schulfahrten und Universitätsexkursionen mit Schnorcheln auch wieder Exkursionen für Studenten mit Tauchgängen stattgefunden haben. Im Jahresprogramm 2008 finden sich wieder thematisch verschiedene Kurse, die an der Station auf der Insel Elba, Italien, angeboten werden.

#### Frühjahr

22.03.–01.04.08: Allgemeine Meeresbiologie  
02.04.–12.04.08: Marine Lebensräume

#### Sommer

19.07.–29.07.08: Fische des Mittelmeeres  
30.07.–09.08.08: Marine Lebensräume  
10.08.–20.08.08: Marine Zoologie  
21.08.–31.08.08: Allgemeine Meeresbiologie

#### Herbst

02.09.–12.09.08: Allgemeine Meeresbiologie  
13.09.–23.09.08: Marine Zoologie  
24.09.–04.10.08: Marine Lebensräume  
26.09.–06.10.08: Methoden der Unterwasserforschung (nur für Taucher/innen)

#### Anmeldung und Informationen:

Institut für Meereswissenschaften AG,  
Bothmerstr. 21, 80634 München,  
Tel. 089/130 60 131,  
E-Mail: [ifm@hydra-institute.com](mailto:ifm@hydra-institute.com),  
Internet: [www.hydra-institute.com](http://www.hydra-institute.com)

# Heimlichtuer im Rampen„licht“ – Flohkrebse unter dem Rasterelektronenmikroskop

Martin Husemann, Bettina Abeln, Melanie Wagner und Monika C. M. Müller

**Obwohl sie unscheinbar sind und wir sie recht selten zu Gesicht bekommen, sind Flohkrebse (Amphipoda) ein wichtiger Bestandteil vieler Ökosysteme. Trotz ihrer geringen Größe bilden sie aufgrund ihrer hohen Individuenzahlen eine große Biomasse. Sie beteiligen sich am Abbau von totem Tier- und Pflanzenmaterial, dienen zahlreichen Organismen als Nahrung und sind somit eine wichtige Komponente vieler Nahrungsnetze. Ihre äußerst vielfältige Lebensweise erklärt die strukturelle Verschiedenheit und die Differenzierungen der Beine und Mundwerkzeuge vieler Vertreter der Amphipoden.**

**W**enn man mit der Hand totes Pflanzenmaterial aus dem Gartenteich oder einem Fließgewässer heraushebt, krabbelt allerlei Getier darauf herum, unter anderem Wasserasseln und Flohkrebse. Letztere bewegen sich recht schnell und quetschen sich spürbar zwischen den Fingern hindurch nach unten und in die Freiheit. Flohkrebse (Amphipoda) und Asseln (Isopoda) sind Krebstiere (Crustacea). Weltweit sind zurzeit circa 7.900 Flohkrebsarten beschrieben. Wissenschaftler gehen aber davon aus, dass tatsächlich zwischen 30.000 und 40.000 Arten existieren (Vader, 2003). Anhand bestimmter Merkmale ordnen Wissenschaftler die Arten vier Untergruppen (Taxa) zu: Gammaridea, Ingolfiellidea, Laemodipodea und Hyperiidea (Füller et al., 1994; Westheide und Rieger, 2004). Davon sind die Gammaridea am bekanntesten, da alle 450 im Süßwasser vorkommenden (limnischen) Amphipoden-Spezies zu dieser Gruppe gehören.

## Wo und wie leben Amphipoden?

Generell leben Flohkrebse in nahezu allen wässrigen (aquatischen) Lebensräumen, das heißt sowohl im Süßwasser (limnisch) als auch im Meerwasser (marin). An Land (terrestrisch) sind Flohkrebse deutlich weniger erfolgreich als ihre nahen Verwandten, die Asseln (Isopoda). Nur Vertreter der Strandflöhe (Talitridae) konnten sich in verborgenen, feuchten und frostfreien Lebensräumen der Südhalbkugel etablieren (Schram, 1986).

Amphipoden besiedeln kleinste Bäche und Weiher, große Ströme und Binnenmeere und das Grundwasser. Sie kommen gelegentlich sogar in zeitlich begrenzt existierenden (ephemeren) Habitaten wie Regenwasserpfützen vor. Im Meer findet man sie vom Strandbereich bis in die Tiefsee (Westheide und Rieger, 2004). Sehr beeindruckend ist die Flohkrebsfauna des Baikalsees in Russland. Hier leben etwa 300 verschiedene Arten, von denen einige an keinem anderen Ort auf der Welt vorkommen (Endemiten). Einige dieser zum Teil recht bunt gefärbten Tiere werden bis zu sechs Zentimeter lang.

Die verschiedenen einheimischen Arten haben unterschiedliche Ansprüche an die Gewässergüte. Daher kann durch die Bestimmung der *Gammarus*-Arten und anderer Organismen die Wasserqualität eines Lebensraumes beurteilt werden. Der dazu verwendete Schlüssel nennt sich Saprobien-Index (sapro, gr. = faul) (Brucker et al., 1995; Ludwig, 2003).

Flohkrebse ernähren sich von feinsten tierischen und pflanzlichen Schwebepartikeln im Wasser (Plankton), von abgestorbenen Pflanzenteilen und Tierresten, weiden Algen und Biofilme (Bakterien) von Sandkörnern ab, überwältigen aber auch als Räuber kleinere Organismen. Parasitische Formen kommen ebenfalls vor. Sie sind aber eher selten und bei weitem nicht so stark in ihrer Körpergestalt (morphologisch) abgewandelt wie schmarotzende Vertreter innerhalb anderer Crustaceen-Gruppen (Schram, 1986). Amphipoden selber dienen einer Vielzahl anderer Organismen, zum Beispiel Fischen, als Nahrung und spielen somit eine bedeutende Rolle im Stoff-

kreislauf ihres Lebensraumes. Aufgrund des großen Feinddrucks (Schram, 1986) halten Amphipoden sich mit Vorliebe in verborgenen Bereichen auf. Die meisten Gammariden besiedeln primär den Bodenbereich (Benthos) ihres Gewässers; oft findet man die kleinen Krebschen unter Steinen und zwischen Pflanzen. Einige Arten wagen sich aber auch ins Freiwasser vor.

### Der Körperbau der Amphipoden

Flohkrebse sind zwischen 1 mm und 28 cm groß (Westheide und Rieger, 2004). Unsere einheimischen Arten haben eine Größe von etwa 2 cm, wobei die Männchen in der Regel etwas größer sind als die Weibchen.

Die Krebstiere gehören zu den Gliederfüßern (Arthropoda) und haben, wie alle Vertreter dieser Gruppe, einen gegliederten, das heißt aus vielen Segmenten bestehenden Körper. Anders als Krabben, die man vielleicht vom Strand her kennt, haben Flohkrebse keine schützende Schale (Carapax), so dass bei ihnen die Segmente frei und sichtbar sind (Abb. 1a). Amphipoden gehören zu einer Krebsgruppe, deren Körper von vorn nach hinten aus dem Kopf (Cephalon), einem Brustabschnitt (Thorax) aus acht Segmenten, einem Hinterleibsabschnitt (Pleon) aus sechs Segmenten und dem abschließenden Telson besteht. Wenn Sie diese Angaben überprüfen, werden Sie jedoch nur 13 anstelle der 14 beschriebenen Segmente zählen können: Der Kopf und das erste Brustsegment

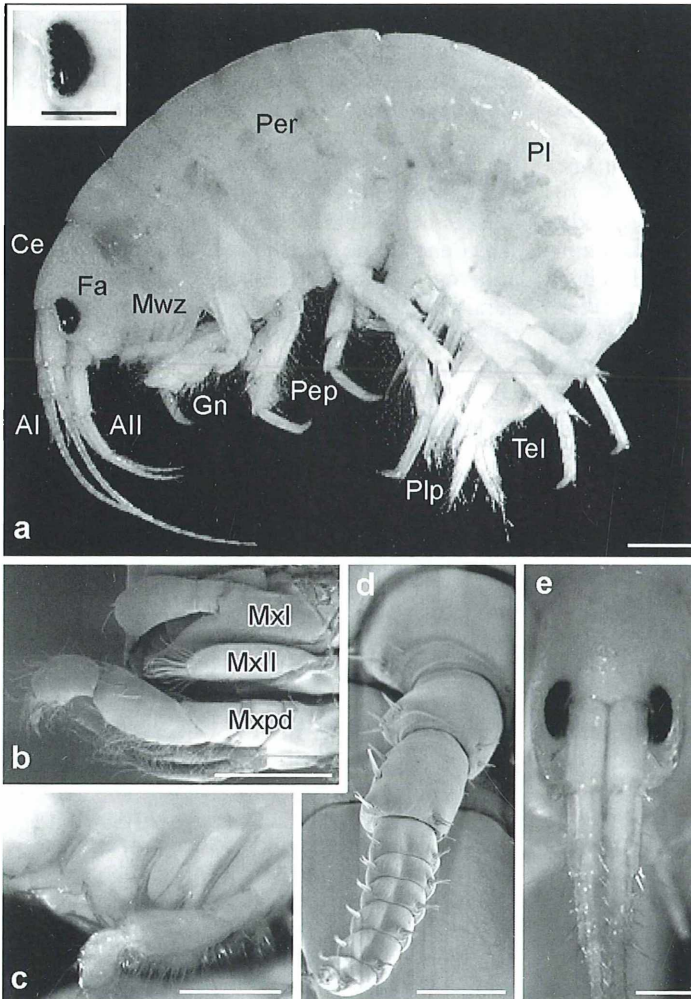


Abb. 1: Körperbau eines Flohkrebsses. a, c, e Lupenaufnahmen; b und d rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen.

a Seitenansicht eines Gammariden. Kleines Fenster: Detailaufnahme des Facettenauges. b Seitenansicht freipräparierter Mundwerkzeuge.

c Mundwerkzeuge und Gnathopod, Vergrößerung aus a. d Frontalansicht der 2. Antenne. e Frontalansicht des Kopfes.

Al 1. Antenne, All 2. Antenne, Ce Cephalothorax, Fa Facettenauge, Gn Gnathopoden, Mwz Mundwerkzeuge, Mxl 1. Maxille, Mxl 2. Maxille, Mxpd Maxilliped, Pep Peraeopoden, Per Peraeon, Pl Pleon, Plp Pleopoden, Tel Telson. Maßstriche: a 1mm; b, c, e, Fenster 500 µm; d 200 µm.



sind miteinander zur „Kopfbrust“ (Cephalothorax) verschmolzen. Da „Brustabschnitt ohne das erste Segment, das jetzt zum Kopf gehört“ sehr umständlich ist, bezeichnen Wissenschaftler den verbliebenen Abschnitt als Peraeon. Die Beine dieses Abschnittes (Peraeopoden) sind siebengliedrig (vom Körper aus: Coxa, Basis, Ischium, Merus, Carpus, Propodus, Dactylus, siehe Abb. 4c). Ihre Hüftglieder (Coxen) bilden große Platten (Coxalplatten) aus, wodurch der Eindruck entsteht, dass die Flohkrebse seitlich zusammengedrückt sind. Am anschließenden Hinterleib (Pleon) sind die seitlichen Körperplatten verlängert (Epimere). So entsteht auf der Bauchseite der Tiere eine tiefe Rinne, die im Brustbereich von den Coxalplatten und am Hinterende von den Epimeren gebildet wird (Abb. 1a und 4c). Die Kiemen (Abb. 4c), die an den Hüftgliedern der Brustbeine ansetzen, liegen in dieser Rinne und werden hier ständig von einem Atemwasserstrom umspült.

Das nach hinten abschließende Telson kann einheitlich, geschlitzt, oder vollständig in zwei Lappen getrennt sein (Schram, 1986). Seine Morphologie kann zur Artbestimmung (Taxonomie) herangezogen werden. Zusammen mit dem letzten Beinpaar (Uropoden) bildet das Telson eine Art Schwanzfächer.

Von den 13 Beinpaaren sind die ersten vier nach vorn (anterior) gerichtet und die übrigen neun nach hinten (posterior) gestreckt. Dieser speziellen Beinstellung verdanken die Flohkrebse ihren wissenschaftlichen Namen Amphipoda: amphi = zu beiden Seiten ausgerichtete podos = Füße, Beine.

### **19 Paar „Beine“ mit perfekter Arbeitsteilung**

Der Kopf der Krebstiere selbst ist schon ein Verschmelzungsprodukt. Er entstand aus einem vorderen Abschnitt und fünf anschließenden Segmenten. Diese trugen paarige Anhänge, die aufgrund ihrer Herkunft und Lage den Beinen gleichkommen (homolog sind). So haben Amphipoden also 19 „Bein“-paare: fünf am Kopf und 14 am Rumpf. Die Anhänge des Kopfes wurden neuen Funktionen angepasst und extrem umgestaltet. Von vorn nach hinten heißen diese Anhänge: 1. Antenne, 2. Antenne, Mandibel, 1. Maxille und 2. Maxille (Abb. 2 und 3). Weil Krebstiere zwei Antennenpaare besitzen, wurden sie früher auch Diantennata genannt. Während die Antennen gut sichtbar

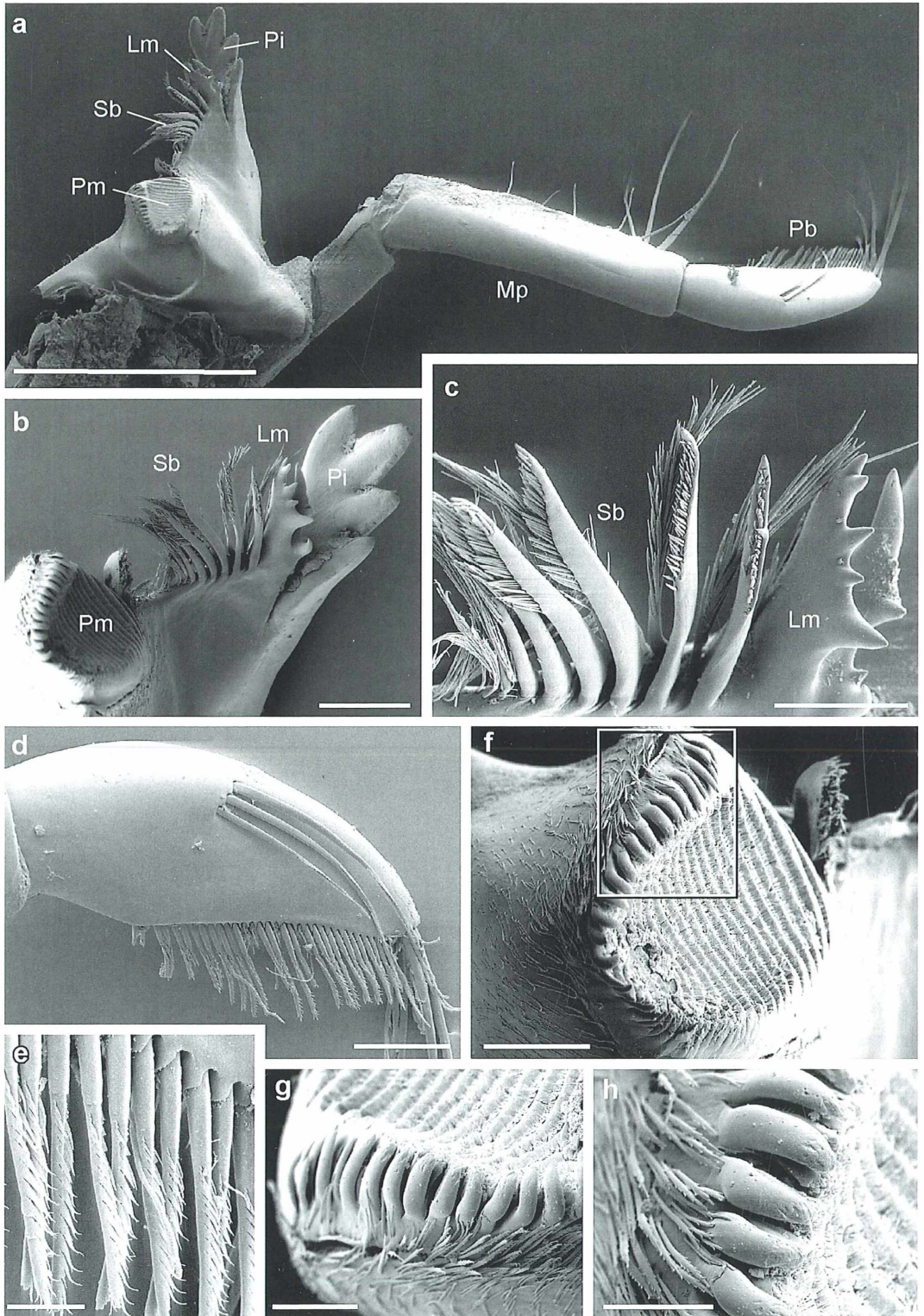
sind, liegen die Mundwerkzeuge dachziegelartig übereinander, wobei hintere die jeweils vorderen überdecken (Abb. 1b und c). Um Details sehen zu können, müssen die Mundwerkzeuge deshalb vom Körper und voneinander getrennt (präpariert) werden.

Auffälligste Sinnesorgane des Kopfes sind die Komplex- oder Facettenaugen (Abb. 1a). In der Vergrößerung (Abb. 1a, kleines Fenster) ist zu erkennen, dass ein derartiges Auge aus kleineren Einzelaugen (Ommatidien) besteht. Die Komplexaugen der Flohkrebse sitzen der Oberfläche auf und sind schwarz pigmentiert.

### **Kopfanhänge und „Hilfsmundwerkzeuge“**

**Antennen.** Die ersten Antennen (A I) setzen zwischen den Augen an (Abb. 1e) und sind deutlich länger als die zweiten (Abb. 1a). Beide Antennen besitzen zwei Grundglieder und eine fein gegliederte, terminale Geißel. Der dichte Besatz der Geißeln mit Sinnesborsten (Abb. 1d) deutet an, dass die Antennen die Umwelt mechanisch und sicher auch chemisch ertasten.

**Mandibeln.** Unser menschliches Gebiss besteht unter anderem aus je vier vorderen oberen und unteren Schneidezähnen (Incisivi) und jeweils seitlich hinten aus den oberen und unteren Mahlzähnen (Molaren). An der Mandibel, dem Beißwerkzeug der Flohkrebse, sind Strukturen ähnlicher Funktion wiederzuerkennen. Der ursprüngliche Mandibeltyp besitzt einen gut ausgebildeten schneidenden Teil, den Pars incisivus (Abb. 2a und b) und einen mahlenden Teil, den Pars molaris (Abb. 2a und b, f–h). Der Pars incisivus (Abb. 2b) ist ein starrer Auswuchs aus der Hüfte (Coxa) der Mandibel. Er setzt sich aus mehreren großen Zähnen zusammen. Der Pars molaris zerdrückt die Nahrungsbrocken vor der Weiterleitung. Er ist aus feineren, zahnähnlichen Substrukturen aufgebaut (Abb. 2f–h), die zusammen eine grobe Mahlfläche mit Querleisten bilden. Zwischen dem „Schneide-“, und dem „Mahlzahn“ befindet sich eine Reihe kräftiger Sägeborsten (Abb. 2b). Sie besitzen fein gefiederte Unterstrukturen (Abb. 2c), die bei geringer Vergrößerung wie ein gezackter Rand erscheinen und wohl namensgebend waren. Die dem „Schneidezahn“ am nächsten gelegene Borste ist zu einer weiteren, beweglichen Struktur, der Lacinia mobilis (Abb. 2a–c), umgestaltet. Auch sie ist zu mehreren Spitzen aus-



gezogen. Ein Seitenast der Mandibel, der Mandibelpalpus (Abb. 2a, d, e), ist dreigliedrig und am Endglied mit einer Reihe von Borsten besetzt. Diese sind fein gefächert und helfen beim Festhalten von Partikeln, beim Putzen und dem Prüfen der Nahrung. Innerhalb der verschiedenen Gruppen der Flohkrebse können verschiedene Teile der Mandibel stark zurückgebildet sein oder ganz fehlen.

**Maxillen.** Die beiden Maxillenpaare (Mx I, Mx II) stehen ebenfalls im Dienste der Nahrungsaufnahme. Entsprechend ihrer Funktion, wie eine Unterlippe den Mundraum nach hinten abzuschließen, sind diese Anhänge eher flächig gestaltet. Wie die Mandibel, so besitzen auch beide Maxillenpaare Seitenäste, die Maxillipalpen (Abb. 3a, c). Der nach außen gerichtete Anteil der 1. Maxille ist mit sehr feinen Borsten besetzt, wohingegen der nach innen gerichtete Anteil mit derben, gesägten Borsten abschließt (Abb. 3b). Der Palpus ist endständig bedornt. Die Maxille I ist deutlich größer als die Maxille II (Abb. 3c). Letztere ist bei den Amphipoden, im Vergleich zu allen anderen, nahe verwandten Krebsen dieser Gruppe deutlich zurückgebildet. Sie besteht aus zwei, an den Rändern stark beborsteten Lappen. Die deutliche Reduktion der Maxille II ist das einzige Merkmal, das alle Flohkrebse gemein haben (Schram, 1986). Der dichte und feine Besatz der Maxillen mit Borsten zeigt, dass sie auch die Funktion haben, feinste Partikel aus dem Wasser herauszufiltern sowie die Mundwerkzeuge zu reinigen.

**Maxillipeden.** Der Kieferfuß (Maxilliped) ist ein „Hilfs-Mundwerkzeug“ (Abb. 3c). Dieses Beinpaar gehört zum ersten Rumpfsegment, das mit dem Kopf zur „Kopfbrust“ (Cephalothorax) verschmolzen ist. Die Beine aller Segmente, die mit dem Kopf verschmolzen sind, werden Maxillipeden genannt – bei den Amphipoden ist es nur ein Paar. Sie bestehen im Wesentlichen aus den Hüften (Coxen), die miteinander verwachsen sind und zwei weiteren

Beingliedern (Basis und Ischium) (Schram, 1986). Der Palpus ist ebenfalls gut ausgebildet und zahlreich mit Borsten besetzt. Zwei nach innen gerichtete, ebenfalls Borsten tragende Anhänge (Endite) vervollständigen den Aufbau. Die Maxillipeden dienen der Nahrungsaufnahme und der Reinigung.

### **Die Rumpfbeine**

Zu den Rumpfbeinen gehören sieben Beinpaare des „Restthorax“ (Peraeopoden) und sechs Beinpaare des Hinterleibs (Pleopoden).

**Gnathopoden.** Es gibt zwei Paar Gnathopoden (Abb. 3d), die zum zweiten und dritten Thoraxsegment gehören (1. Segment = Maxillipeden, siehe oben). Ihre letzten beiden Beinglieder (Propodus und Dactylus) bilden eine nach innen klappende Schere (Subchela). Mit den Gnathopoden werden Nahrungspartikel festgehalten. Die Amphipoden-Männchen nutzen sie jedoch auch, um vor und während der Paarung die Weibchen zu ergreifen. Daher sind die Scheren bei geschlechtsreifen Männchen auch zu meist deutlich kräftiger ausgebildet als bei den Weibchen.

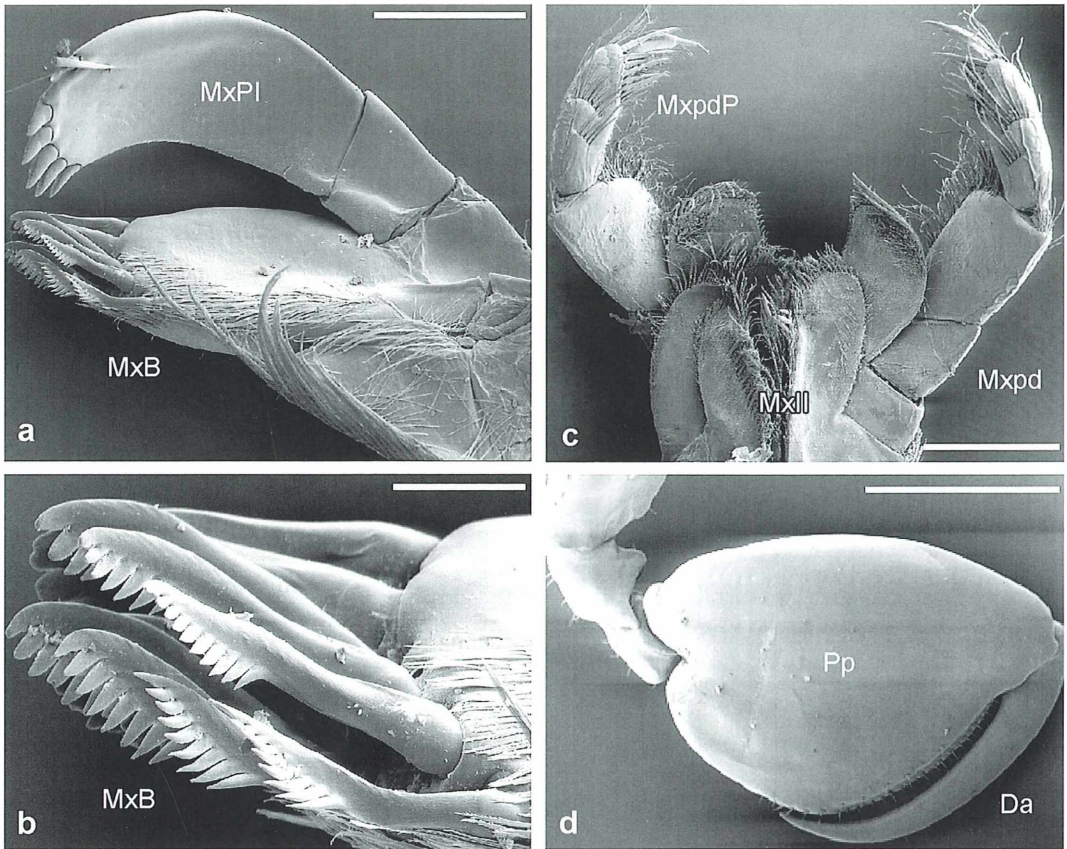
**Schreitbeine.** Die übrigen fünf Brustsegmente (Thoraxsegmente 4–8) tragen Schreitbeine, von denen die ersten beiden Paare nach vorn, die hinteren drei Paare nach hinten gerichtet sind (Amphipoda).

**Schwimmbaine.** Die vorderen drei Beinpaare des Hinterleibes (Pleon) werden zum Schwimmen und zur Erzeugung eines Atemwasserstroms verwendet. Diese Pleopoden sind zweistösig und dicht beborstet. Dieser Teil des Hinterleibs wird auch Pleosoma genannt.

**Sprungbeine.** Die drei hinteren Beinpaare des Hinterleibes werden zum Graben und zum Springen eingesetzt. Diese drei Beinpaare werden auch Uropoden, der hintere Körperabschnitt Urosoma genannt.

**Abb. 2: Morphologie der Flohkrebse-Mandibel. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen. a** Die gesamte Mandibel. **b** Der kauend-beißende Anteil mit Pars molaris und Pars incisivus. **c** Detail Sägeborsten und Lacinia mobilis. **d** Endglied des Mandibelpalpus mit Palpenborsten. **e** Detailaufnahme der Palpenborsten. **f** Detailaufnahme des Pars molaris. Der „Mahlzahn“ besitzt auf seiner Oberfläche Querleisten, an den Rändern zahnähnliche Gebilde. **g** Vergrößerung aus f, 90° gegen Uhrzeigersinn gedreht. **h** Pars molaris, links Rand, rechts Mahlfäche. Die Zähne scheinen in die Querleisten überzugehen. **lm** Lacinia mobilis, **mp** Mandibelpalpus, **pb** Palpenborsten, **pi** Pars incisivus, **pm** Pars molaris, **sb** Sägeborsten. Maßstriche: **a** 500 µm; **b** und **d** 100 µm; **c** und **f** 50 µm; **e**, **g**, **h** 20 µm.





**Abb. 3: Morphologie der Maxillen.** a Maxille I (rechte Seite). b Borsten der Maxille I. c Maxille II und Maxillipeden, Maxille II stark reduziert. d Gnathopod eines geschlechtsreifen Männchens. Da Dactylus, MxB Maxillenborsten, MxPI Palpus der Maxille I, MxII 2. Maxille, Mxpd Maxilliped, MxpdP Maxillipedenpalpus, Pp Propodus. Maßstriche: a 200 µm; b 50 µm; c 50 µm; d 1 mm.

### Fortbewegung

Während die Tiere in Ruhestellung auf der Seite liegen und halbkreisförmig gebogen sind, kann die Fortbewegung in verschiedenen Positionen erfolgen. Diverse Taxa haben unterschiedliche Lokomotionsarten etabliert; Schwimmen, Laufen, Springen, Graben oder die spannerraupeartige Fortbewegung kommen vor. Das Schwimmen erfolgt hauptsächlich mit den ersten drei Hinterleibsbeinpaaren und dem Schwanzfächer, der aus dem letzten Beinpaar und dem Telson gebildet wird. Vor allem die Männchen einiger Arten können viele Stunden schwimmen. Dazu schlagen die Tiere mit ihren drei Schwimmbeinpaaren in metachronem Rhythmus: Das dritte Paar beginnt mit

dem Schlag, das zweite Paar folgt diesem nach einigen Sekundenbruchteilen und das erste Paar vollendet einen Durchlauf. Dadurch kommt eine gleitende Bewegung zustande (Füller et al., 1994).

An Land oder am Gewässergrund bewegen die Tiere sich häufig in der Seitenlage fort. Dabei rutschen sie auf einer Körperseite vorwärts, angetrieben durch wiederholte Kontraktion und Streckung des gesamten Körpers. Andere bodenlebende Amphipoden bewegen sich mit dem Bauch nach unten und schieben sich mit den Brustbeinen über das Substrat. *Corophium*-Arten benutzen ihre zweiten Antennen, um sich über den Schlickboden zu ziehen. Viele Amphipoden, die zumindest zeitweise an Land leben, wie zum Beispiel der Strandfloh (*Talitrus salta-*



tor), bewegen sich hüpfend fort. Hierbei drückt sich das Tier mit den Sprungbeinen (Uropoden) vom Grund ab.

Eine Besonderheit innerhalb der Amphipoda stellen die Widder- oder Gespenstkrebse (Caprellidae) dar. Sie haben einen Bewegungsmodus entwickelt, der dem der Spannerrauen ähnelt. Zunächst halten sie sich mit vorderen Brustbeinen, genauer den Gnathopoden, am Substrat fest. Der Körper wird möglichst weit dorsal gebogen und der Hinterkörper nahe herangezogen. Am Punkt der stärksten Biegung halten die Tiere sich mit den hinteren Beinpaaren fest, lassen mit den Gnathopoden los und strecken den Körper durch. Somit haben sie fast eine Körperlänge Wegstrecke zurückgelegt. Neben den zuvor beschriebenen Bewegungsarten können viele Flohkrebse auch graben.

### **Männchen, Weibchen, klammernde Freier**

Alle Amphipoden sind getrennt geschlechtlich, das heißt, es gibt Männchen und Weibchen. In einigen Merkmalen unterscheiden sich die Geschlechter (Geschlechtsdimorphismus). So sind zum Beispiel die Männchen größer als die Weibchen, die Extremitäten und die Antennen der Männchen sind dichter beborstet und die Gnathopoden (Abb. 3d) der Männchen tragen größere Scheren, da diese zum Festhalten der Weibchen benutzt werden. Hierbei verankert sich das Männchen mit den Scheren seiner Kieferfüße zwischen zwei Segmenten im Rumpf des Weibchens. Weil eine Paarung nur in einem kurzen Zeitraum nach der Reifehäutung des Weibchens möglich ist, ergreifen die Männchen die Weibchen schon, bevor diese geschlechtsreif sind, um den richtigen Zeitpunkt nicht zu verpassen. Deshalb sieht man häufig Amphipoden als Tandems durch das Wasser gleiten, wobei das Weibchen unten, das Männchen oben ist. Diese Bewachung vor der Paarung wird Praecopula genannt (precopulatory guarding). Die Paarung kann sich zwischen Arten mit verschiedener Lebensweise unterscheiden. So ist die zuvor beschriebene Paarung mit Praecopula typisch für bodenlebende Vertreter. Bei grabenden Taxa findet häufig nur eine stark verkürzte, oder gar keine Greifphase vor der Paarung statt. Auch bei im Freiwasser lebenden Amphipoden kommt nur selten eine Praecopula vor. Die Partner finden sich hier erst unmittelbar vor der Verpaarung.

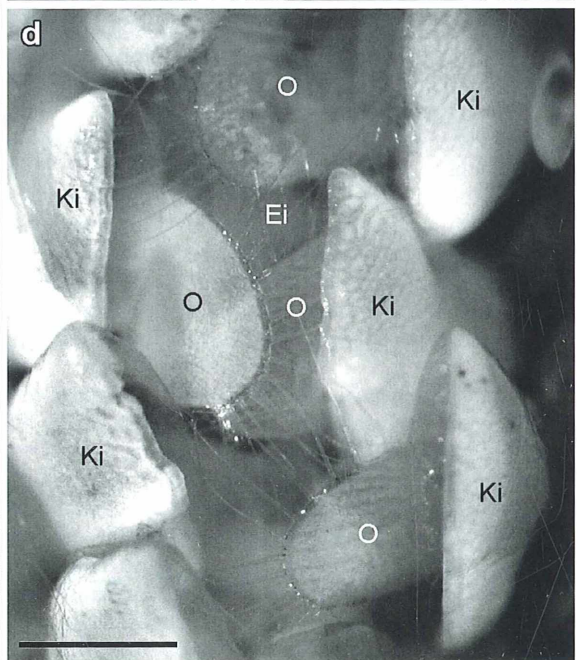
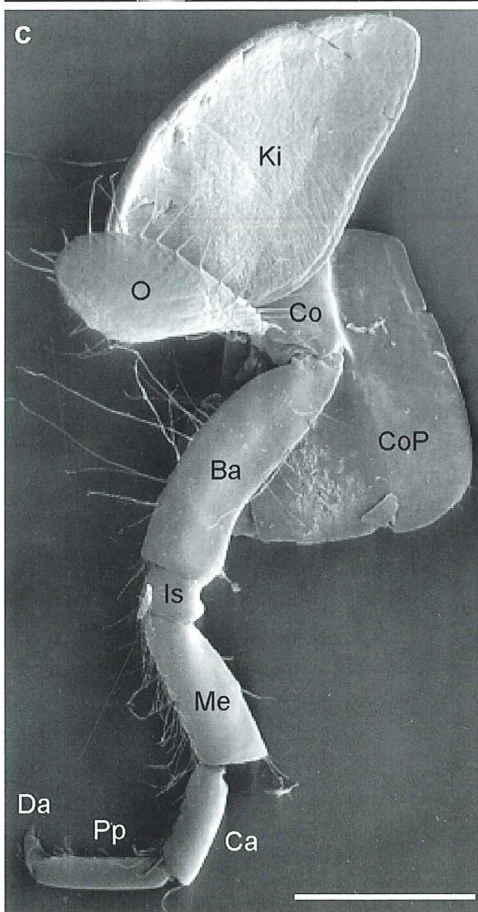
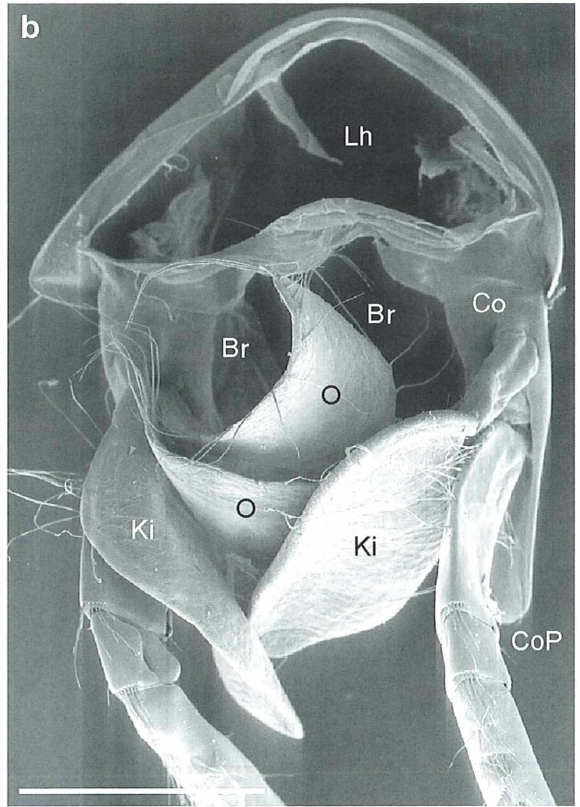
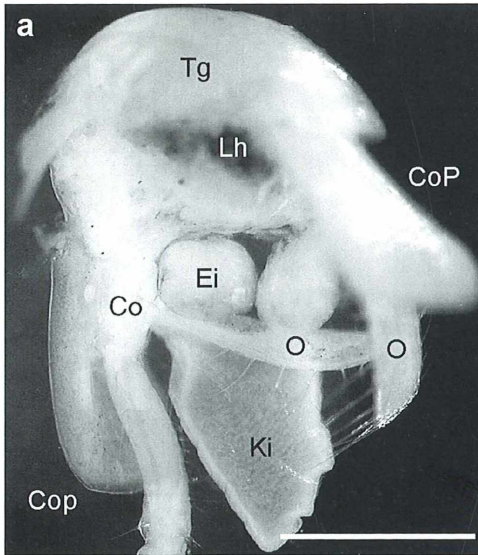
### **Bauchseitiger Anbau zur Kinderaufzucht**

Während der Reifehäutung bildet das Weibchen auf der Bauchseite einen Brutraum, das Marsupium aus. Wenn Sie die Bezeichnung an die Marsupialia, die Beuteltiere, erinnert, so ist diese Namensähnlichkeit von den Wissenschaftlern sicher gewollt. An den Brustbeinen haben sich nun nach innen gerichtete, großflächige, an den Rändern beborstete Anhänge, die Oostegite, gebildet (Abb. 4; oon, gr. = Ei; stege, gr. = Decke). Diese gewölbten „Eiplatten“ liegen dachziegelartig übereinander und schließen den Brutraum seitlich und nach unten zur Außenwelt ab. Das Dach bildet die Bauchseite der Weibchen (Abb. 4a und b). Diese einzigartige Form der Brutpflege ist Kennzeichen einer ganzen Krebsgruppe, der Ranzenkrebse (Percarida), zu denen auch die eingangs erwähnten Asseln (Isopoda) gehören.

Häufig kommt es nach dem Schlupf der Jungen beim Weibchen zu einer so genannten Zwischenhäutung, bei der die Borsten der Oostegite reduziert werden. In diesem Stadium kann es nicht zu einer neuen Befruchtung kommen. Erst nach einer erneuten Reifehäutung ist das Weibchen wieder zur Paarung bereit.

### **Begattung, Reproduktivität, Entwicklung**

Das Begattungsorgan des Männchens besteht aus zwei Penisapilln, die sich auf der Bauchseite des achten Thoraxsegmentes befinden. Das Sperma wird in den Brutraum (Abb. 4a, b, d) des Weibchens übertragen, in dem die Befruchtung der Eier stattfindet. Ein adultes Weibchen von *Gammarus pulex* kann monatlich 40–60 Eier produzieren. In einem Jahr kommt es zu sechs bis neun Eiablagen, die alle in den Sommermonaten erfolgen (Füller et al., 1994). Gelegegröße und Zahl der Eiablagen ist artspezifisch. Die größten Gelege bestehen aus 180–190 Eiern bei *Dikerogammarus villosus*. Weibchen der Gattung *Niphargus* hingegen legen nur circa ein Duzend Eier (Füller et al., 1994). Die Dauer der Entwicklung der Jungtiere unterscheidet sich ebenfalls zwischen den Arten, ist aber noch deutlicher von der Temperatur abhängig. Der Flussflohkrebs (*Gammarus roeselii*) zum Beispiel benötigt bei einer Temperatur von 16 °C 20 Tage von der Befruchtung bis zur Entlassung der Jungtiere. Bei 10 °C dauert die Entwicklung bereits 44 Tage



(Pöckl, 1993). Nach dem Schlüpfen verbleiben die Jungen meist noch einige Tage im Brutbeutel der Mutter.

### **Wissenschaftlicher Humor...**

Bei der Benennung einer neuen Amphipodenart aus dem Artenschwarm des Baikalsees gab es Probleme. Diese Art sollte den bisher längsten vorgeschlagenen wissenschaftlichen Namen erhalten. Er lautete: *Gammaracanthuskytodemogammarus loricatobaicalensis*. Wir würden dies vereinfacht übersetzen als „stachelhäutiger Flohkrebs mit Panzer aus dem Baikalsee“. Der Name wurde in der internationalen Nomenklatur nicht anerkannt.

### **Zur Entstehung dieses Artikels**

Im Rahmen eines zoologischen Praktikums zur Evolution und Phylogenie der Arthropoden an der Universität Osnabrück wurde den Studierenden angeboten, in Arbeitsgemeinschaften ausgewählte Arten detaillierter mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) zu untersuchen. Martin Husemann, Melanie Wagner und Bettina Abeln schlossen sich zu einer REM-AG zusammen und produzierten unter Anleitung von PD Dr. Monika C. M. Müller den vorliegenden Artikel.

### **Literaturhinweise**

- Brucker, G., Flindt, R., Kunsch, K.: Biologisch-ökologische Techniken, Biologische Arbeitsbücher. Quelle & Meyer Verlag, Heidelberg 1995.
- De Lange, H. J., Lüring, M., van den Borne, B., Peeters, E. T. H. M.: Attraction of the amphipod *Gammarus pulex* to water-borne cues of food. *Hydrobiologica* 544, 19–25 (2005).
- Elliot, J. M.: Day-night changes in the spatial distribution and habitat preferences of freshwater shrimp *Gammarus pulex* in a stony stream. *Freshwater Biology* 50, 552–566 (2005).
- Füller, H., Gruner, H.-E., Hartwich, G., Kilias, R., Moritz, M.: *Urania-Tierreich in sechs Bänden, Wirbellose 2 (Annelida bis Chaetognatha)*, 1. Auflage. Urania-Verlag, Leipzig 1994.
- Hennig, W.: *Wirbellose II*, 5. Auflage, S. 118–119. Gustav Fischer Verlag, Jena 1994.
- Hutter, C.-P. (Hrsg.), Konold, W., Schreiner, J.: *Quellen, Bäche, Flüsse und andere Fließgewässer. Biotope erkennen, bestimmen, schützen*. Weitbrecht in K. Thienemanns Verlag, Stuttgart 1996.
- Ludwig, H. W.: *Tiere und Pflanzen unserer Gewässer*. BLV Verlag, München 2003.
- Pöckl, M.: Beiträge zur Ökologie des Bachflohkrebses (*Gammarus fossarum*) und des Flussflohkrebses (*Gammarus roeseli*). Entwicklungszyklus und Fortpflanzungskapazität. *Natur und Museum* 123, 114–125 (1993).
- Schaefer, M.: *Brohmer, Fauna von Deutschland. Quelle & Meyer Verlag, Heidelberg 1992.*
- Schram, F. R.: *Crustacea*. p. 158–184. Oxford University Press, Inc., New York 1986.
- Vader, W.: How many amphipod species? 11. Crustaceologentagung in Ulm, Poster und Abstract (2003).
- Wehner, R., Gehring, G.: *Zoologie*. 23. Auflage, S. 678–683, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1995.
- Schminke, H.-K.: *Crustacea*. In: Westheide, W., Rieger, R. (Hrsg.): *Spezielle Zoologie, Teil I: Einzeller und Wirbellose Tiere*, S. 501–581. Elsevier Verlag, München 2004.
- Verfasser:** PD Dr. Monika C. M. Müller, Zoologie, Fachbereich Biologie/Chemie, Universität Osnabrück, 49069 Osnabrück, E-Mail: MCMueller@biologie.uni-osnabrueck.de; Martin Husemann, Bettina Abeln und Melanie Wagner, FB 5, Universität Osnabrück, 49069 Osnabrück

**Abb. 4:** Morphologie geschlechtsreifer Weibchen. a und d: Lupenaufnahmen. b und c: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen. a Querschnitt durch ein Thoraxsegment. Im Brutraum befinden sich zwei Eier. b Querschnitt durch ein Thoraxsegment. c Freipräparierter Thoracopod; Ansicht von der Innenseite. d Aufsicht auf den Brutraum (Marsupium). Die Oostegite überlappen sich und ihre langen Randborsten sind gleichsam verzahnt. Ba Basis, Br Brutraum, Ca Carpus, Co Coxa, CoP Coxalplatte, Da Dactylus, Is Ischium, Ki Kieme, Lh Leibeshöhle, Me Merus, O Oostegit, Pp Propodus, Tg Tergit. Maßstriche: a 1,5 mm; b und c 1 mm; d 0,5 mm.

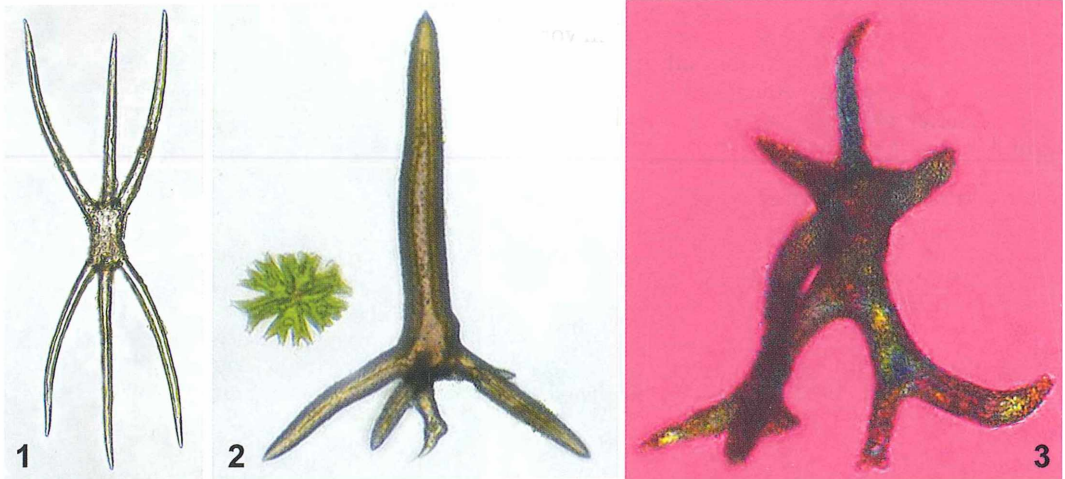
*Mikro-Ufo***Zackige Fundstücke**

**Unser langjähriger Leser und Autor Ernst Hippe aus Neu-Isenburg hat in seinen Proben unbekannte Objekte gefunden, die er im MIKROKOSMOS zur Diskussion stellen möchte. Er schreibt dazu:**

Im Simmelried bei Konstanz und in anderen Gewässern kommen gelegentlich die abgebildeten Objekte vor (Abb. 1–3), deren Einordnung in die Botanik oder Zoologie zweifelhaft erscheint. Manche sind symmetrischer als andere, mit unterschiedlich vielen, möglicherweise hohlen „Ästen“. Aber alle sind im Hellfeld bräunlich (Abb. 1 und 2), und im polarisierten Licht erkennt man sie als doppel-

brechend (Abb. 3). Meistens muss man sie aus dem Detritus herausklauben. Die Größe liegt bei den bisher gefundenen Exemplaren um 350–550 µm. Ob alle drei der hier gezeigten Gebilde das gleiche Objekt zeigen, ist ungewiss.

Manche pflanzlichen Haare haben zwar ähnliche, aber meist gleichmäßigere Strukturen. Wer hat zu den Ufos eine Idee?



**Abb. 1: Symmetrisch ausgebildete Form (Hellfeld). – Abb. 2: Nur an einem Pol gezackte Form, links daneben eine *Micrasterias*-Zelle (Hellfeld). – Abb. 3: Gelbe und blaue Bereiche belegen doppelbrechende Eigenschaften der Struktur (Polarisation).**

Hinweise bitte an:

Ernst Hippe, Meisenstr. 10, 63263 Neu-Isenburg, E-Mail: [ernst.hippe@gmx.de](mailto:ernst.hippe@gmx.de)  
oder die Redaktion des MIKROKOSMOS



# Die Histologie der Zähne am Beispiel des Unterkiefers einer Maus (*Mus musculus*)

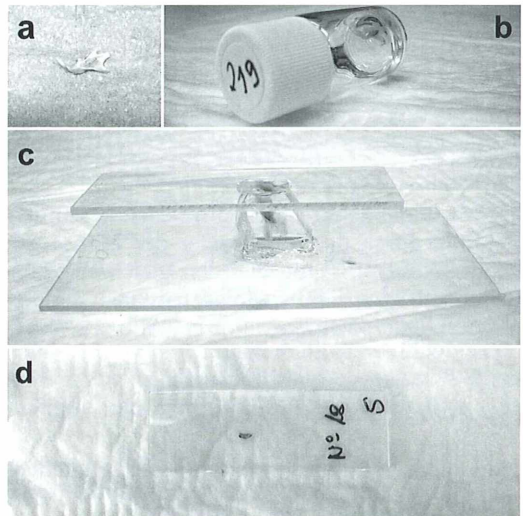
Falko Drews und Kai Muhlack

Zähne dienen vor allem dem Ergreifen und der mechanischen Zerkleinerung von Nahrung. Bei den Nagetieren (Rodentia), der arten- und erfolgreichsten Gruppe unter den rezenten (heute noch lebenden) Säugetieren, sind die Zähne der primär phytophagen (pflanzenfressenden) Ernährungsweise angepasst. Deutliche Unterschiede im Vergleich zum Gebiss des Menschen sind die Trennung von Nage- und Kaugebiss, das lebenslange Nachwachsen der Schneidezähne sowie der Verlust von Milchzähnen. Diese werden embryonal zwar angelegt, aber nicht ausgebildet, sondern bereits früh durch ein permanentes Gebiss abgelöst (Anlagediphodontie). Mäuse sind neben Ratten, Hamstern und Bibern wohl die bekanntesten Nagetiere. Anhand histologischer Präparate des Unterkiefers der Hausmaus (*Mus musculus*) werden die Struktur der Säugetierzähne und ansatzweise auch deren Entwicklung vorgestellt.

**D**ie Hausmaus (*Mus musculus*) kommt weltweit mit zahlreichen Unterarten vor und ist ein gefürchteter Nahrungs- und Gesundheitsschädling. Allerdings werden einige Vertreter auch als Haustiere gehalten. Aufgrund ihrer großen genetischen Ähnlichkeit mit dem Menschen, werden seit Anfang des vergangenen Jahrhunderts insbesondere Inzuchtstämme der Hausmaus als Modellorganismus zur Erforschung menschlicher Krankheiten eingesetzt (Silver, 1995). Für diese Arbeit standen uns Mäusköpfe des Inzuchtstammes C57BL/6 zur Verfügung.

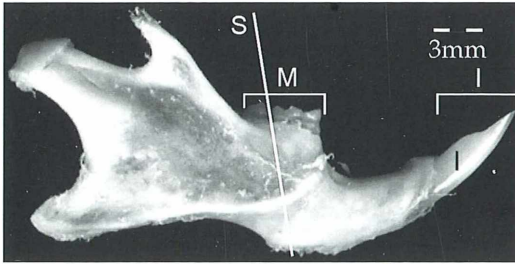
## Präparation eines Mausunterkiefers

Von den Köpfen wurden zunächst die Unterkiefer freipräpariert. Nach beidseitigen Entlastungsschnitten der Mundwinkel mit Hilfe eines Skalpells erfolgte die Luxation (Ausrenkung) der Unterkiefer aus den Gelenkkapseln durch rotierende Bewegungen. Nach Trennung der beiden Unterkieferhälften, die über eine knorpelige Knochenverbindung (Synchondrose) miteinander verwachsen sind, schloss sich die manuelle Versäuberung der Knochen von Weichgewebsresten an. Die in Formalin fixierten Kiefer entwässerten über mehrere Tage in einer aufsteigenden Alkoholreihe. Die so vorbereiteten Kiefer wurden in Kunststoff (K-Plast, Firma Medium Histotechnologie) eingebettet



**Abb. 1:** Anfertigung eines histologischen Schnittes durch einen Mausunterkiefer. **a** Ausgangsmaterial ist eine Hälfte eines präparierten Unterkiefers. **b** Einbettung in Kunststoff. **c** Auf einem großen Objektträger positioniertes Präparat mit späterem Objektträger (oben). **d** Gefärbtes Dünnschliffpräparat (50 µm Schichtdicke).

und nachfolgend auf großen Kunststoffobjektträgern positioniert. Parallel zur Schnittfläche wurde der spätere Objektträger auf das Präparat geklebt. Eine Diamant-Bandsäge schnitt im Abstand von 200 µm zum kleinen Objektträger



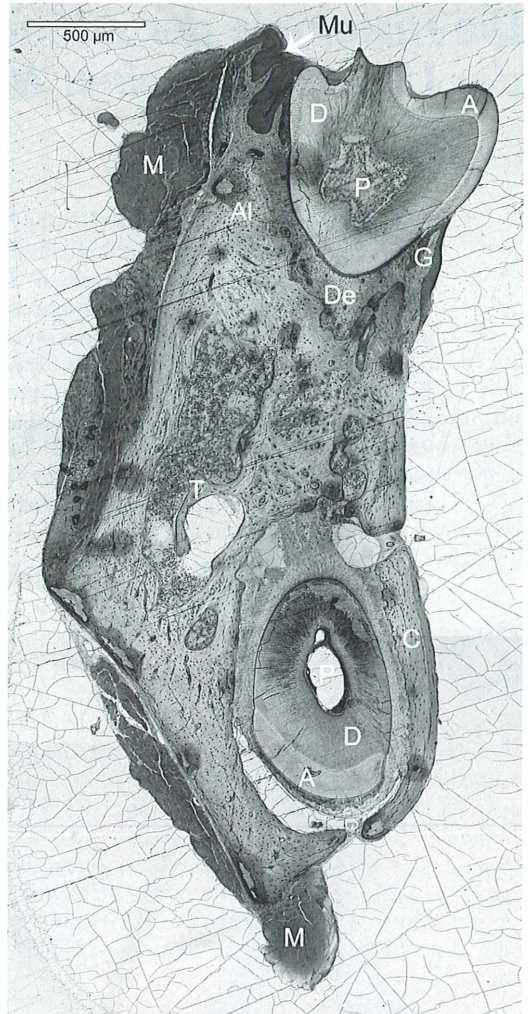
**Abb. 2:** Präparierter Unterkiefer der Maus vor der Fixierung und Einbettung. Die Schnittebene durch die Backenzähne (M Molare) und den unteren Schneidezahn (I Incisivus) ist durch eine Linie (S Schnittebene) gekennzeichnet.

den Unterkiefer an. Nach dem Anschleifen und Hochglanzpolieren des Präparates verblieben 50 µm dicke Knochenschnitte. Die wichtigsten Präparationsschritte sind in Abbildung 1 gezeigt. Zur optischen Auswertung wurden die Präparate nach Giemsa gefärbt, dabei handelt es sich um eine Azur-Eosin-Methylenblau-Lösung. Die Gewebe stellen sich dabei in folgender Färbung dar (Tab. 1).

Um mit möglichst wenigen der aufwändig herzustellenden Schnitte viele Informationen über den Zahnaufbau zu bekommen, wurde eine leicht von der Senkrechten abweichende Schnitt-richtung durch den Unterkiefer der Mäuse gewählt (Abb. 2). Dabei wurden gleichzeitig sowohl die Backenzähne (Molare) als auch der untere Schneidezahn angeschnitten (Abb. 3).

### Der Aufbau der Säugetierzähne

Jeder nicht lebenslang wachsende Zahn gliedert sich in die Zahnkrone (sichtbarer Teil), den Zahnhals an der Schmelz-Zement-Grenze und die unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze gelegene Wurzel. Drei Hartsubstanzen sind am Aufbau eines Zahns beteiligt: Schmelz (Adamantin; Sieger, 1995a), Zahnbein (Dentin; Sieger, 1995b) und das Zement (Cementum). Die Zahnschmelzmatrix wird schubweise durch Schmelz bildende Zellen, die Ameloblasten, ausschließlich während der Zahnentwicklung gebildet. Zahnschmelz kann später nicht mehr erneuert werden. Mineralisierter Schmelz ist eine sehr harte Substanz aus Hydroxylapatit-Kristallen und schützt das darunter liegende Zahnbein vor Abnutzung (Bartsch, 2006).



**Abb. 3:** Histologie eines Mausunterkiefers; Ansicht von frontal. Zusammengesetzte Einzelbilder zeigen die vollständige Schnittebene durch den Unterkiefer (vgl. Abb. 2, Schnittebene S). Der Backenzahn liegt oben, der angeschnittene Schneidezahn unten. A Adamantin (Zahnschmelz); Al Alveolarknochen; C Compacta des Unterkieferknochens; D Dentin; De Desmodont; G Gingiva; M Muskelfasern; Mu Mukosa (Mundschleimhaut); P Pulpa; T Trabekel der Spongiosa.

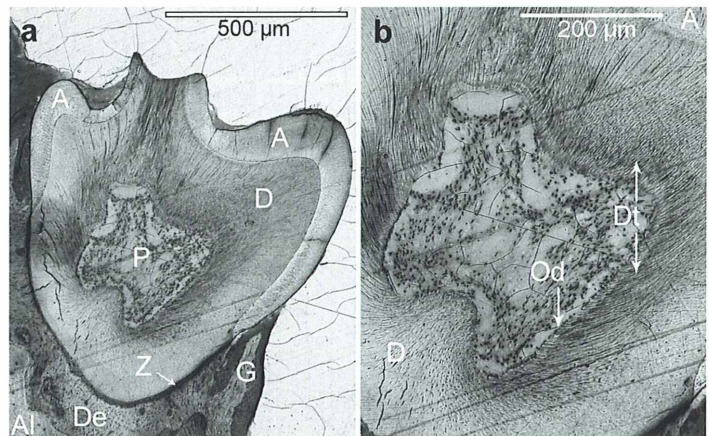
Von Odontoblasten abgeschiedenes Prädentin mineralisiert zum Dentin. Es ähnelt dem Knochengewebe und bildet die Hauptmasse des Zahnes. Das Zement wiederum wird von Cementoblasten gebildet. Es ist ebenfalls eine knochenähnliche Substanz und bedeckt die



Tab. 1: Färberegebnisse der Giemsa-Färbung.

Struktur	Färberegebnis
Mineralisierte Hartgewebematrix	ungefärbt
Knochen- und Weichgewebszellen, Kollagenfibrillen und Osteoid	unterschiedlich blau
Knorpelmatrix	rot violett
Zellkerne	blau
Zement	dunkelblau
Erythrozyten, Epitheloidzellen und Bindegewebe	hellrot-rotorange

**Abb. 4:** a Backenzahn einer erwachsenen Maus im Frontalschnitt. A Adamantin (Zahnschmelz); Al Alveolarknochen; D Dentin; De Desmodont; G Gingiva; P Pulpa; Z Zement. b Die Pulpa eines Backenzahns. Vergrößerung aus a. Od Odontoblasten; Dt angeschnittene Dentintubuli.



Zahnwurzel (Abb. 4a). An der Wurzelspitze liegt eine kleine Öffnung (Foramen apicale), über die das Innere des Zahnes (Zahnpulpa) mit Blutgefäßen sowie mit Nerven versorgt wird. Die Zahnpulpa – auch als Zahnmark bezeichnet – trägt sowohl zur Dentinbildung, der Ernährung des Zahnes, dessen Innervation (Nervenversorgung) als auch zur Abwehr infektiöser Erreger bei (Abb. 4b).

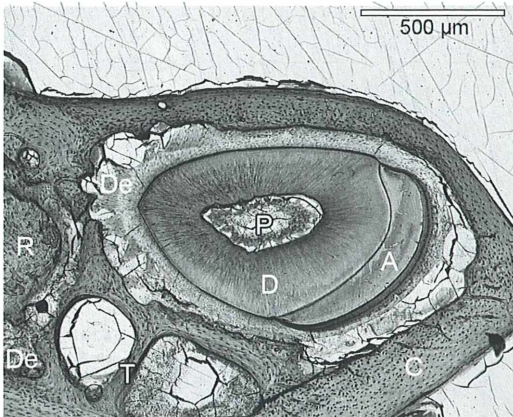
Über den Zahnhalteapparat (Zahnbett, Parodontium) wird der Zahn federnd im Knochen des Kiefers gelagert. Dieses Zahnbett besteht aus dem Zahnfleisch (Gingiva), dem der Wurzel benachbarten Alveolarknochen, dem Wurzelzement und dem als Wurzelhaut (Desmodont) bezeichneten bindegewebigen Geflecht im Periodontalspalt zwischen Zahnwurzel und Alveolarknochen (Abb. 3 und 4a). Kollagene Bindegewebsfasern (Sharpey-Fasern) dieser Wurzelhaut strahlen sowohl in das Zement als auch den Alveolarknochen ein und hängen den Zahn federnd in der Alveole (= Vertiefung des Kieferknochens) auf.

Der Unterkiefer der Maus ist allerdings kein massiver Knochen, sondern aus Gründen der Gewichts- und Materialersparnis aus einem Geflecht von Knochenbälkchen (Trabekeln) aufgebaut. In den Hohlräumen dieses Gerüsts befindet sich das Knochenmark (Abb. 3).

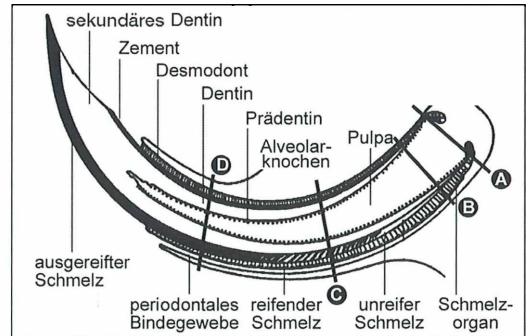
### Besonderheiten des Mauszahns

Die Lebens- und Ernährungsweise der Echten Mäuse (Muridae), zu denen neben der Hausmaus und deren Inzuchtstämmen (z.B. C57BL/6) auch Ratten (*Rattus*) gerechnet werden, führte zur Spezialisierung des Kauapparates in Form einer morphologischen und funktionellen Trennung des Nagegebisses (Schneidezähne) vom Kaugebiss (Molare). Im Vergleich zum Menschen fehlen ihnen nämlich sowohl die Eckzähne (Canini) als auch die vorderen Backenzähne (Prämolaren) vollständig. Stattdessen besitzen Nagetiere einen zahnlosen Bereich (Diastema) zwischen den vorderen Schneidezähnen





**Abb. 5:** Unterer Schneidezahn (Incisivus) einer Maus im Querschnitt. A Adamantin (Zahnschmelz); C Compacta des Unterkieferknochens; D Dentin; De Desmondont; P Pulpa; R Radix (Wurzel) eines angrenzenden Molaren; T Trabekel der Spongiosa des Unterkiefers.



**Abb. 6:** Schemazeichnung eines permanent nachwachsenden Schneidezahns der Hausmaus (nach Osborn, 1981). Die Buchstaben A–D geben die verschiedenen Schnittebenen der Präparate aus Abbildung 7 wieder. Außerdem entspricht Abbildung 8a einem Schnitt in Höhe von C und Abbildung 8b einem weiter ventral gelegenen Schnitt auf Höhe von D.

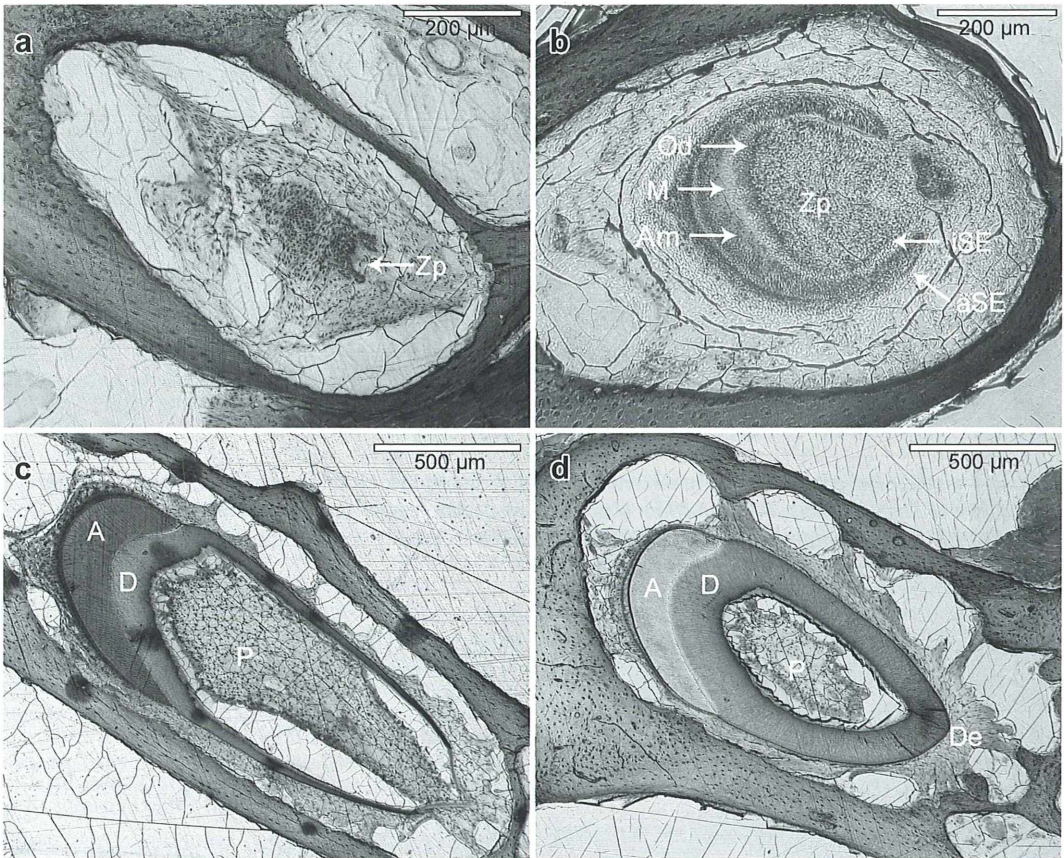
(Incisiven) und den Backenzähnen (Molaren). Entsprechend der Zahnformel 1-0-0-3 stehen in einer Hälfte des Mausunterkiefers ein vorderer Schneidezahn und drei Mahlzähne (Abb. 2). Insgesamt umfasst das Gebiss der Hausmaus demnach 16 Zähne, von denen die vier Schneidezähne eine dominante Rolle übernehmen. Eine weitere Besonderheit der Nagetiere ist es, dass die Schmelzbeläge des Unter- und Oberkiefers nur an der Vorderseite (labialen Seite) der Schneidezähne auftreten (Abb. 5). Da Dentin weicher ist als der Schmelz, entsteht so durch uneinheitlichen Zahnabrieb eine scharfe Meißelkante. In Verbindung mit dem lebenslangen Wachstum der Schneidezähne werden diese niemals stumpf und womöglich untauglich für die weitere Nahrungsaufnahme. Genau dieser Aufbau der Nagerzähne aus unterschiedlich harten Materialien diente jüngst Bionikern als Vorbild, um selbst schärfende Industriemesser zu entwickeln (Wunderlich, 2006). Auch die „Laterne des Aristoteles“, der innere Kieferapparat der Seeigel, wächst analog zu den Schneidezähnen der Nagetiere zeitlebens und erfährt eine asymmetrische Abnutzung, so dass ebenfalls eine meißelartige Spitze gebildet wird (Meyer-Rochow, 1977). Hingegen besitzen die Backenzähne der Echten Mäuse eine Zahnwurzel und wachsen daher nicht lebenslang.

### Zahnentwicklung (Odontogenese)

Verfolgt man den unteren Schneidezahn innerhalb des Alveolarknochens weiter in Richtung apikal zurück, so können die unterschiedlichen Entwicklungsstufen der Odontogenese (Krause und Jennemann, 1995; Welsch, 2006) an einem einzigen Zahn beobachtet werden (Abb. 6 und 7).

Während der embryonalen Entwicklung wächst vom Boden der Mundbucht ausgehend eine Epithelleiste in das darunter liegende mesodermale Gewebe. Aus dieser Zahnleiste entwickeln sich kolbenartige Vorsprünge (Zahnknospen). In einer späteren Phase begrenzen äußeres und inneres Schmelzepithel das glockenförmige Schmelzorgan, welches die Zahnpapille umschließt (Abb. 7a und b). Diese Zahnpapille ist das Ausgangsgewebe für Dentin und Zahnpulpa (Krause und Jennemann, 1995). Die Zellen des inneren Schmelzepithels (Abb. 7b) regen Odontoblasten zur Dentinbildung an. Das Dentin stimuliert umgekehrt die weitere Differenzierung des inneren Schmelzepithels und dadurch die Zahnschmelzentwicklung (Amelogenese) (Nanci, 2003). Denn die Ameloblasten differenzieren sich aus den Zellen des inneren Schmelzepithels solange bis alle Zellen des Schmelzepithels in Ameloblasten





**Abb. 7: Erscheinungsformen der Zahnentwicklung (Odontogenese) am Beispiel eines Schneidezahns der Maus. A Adamantin (Zahnschmelz); Am Ameloblasten; äSE äußeres Schmelzepithel; D Dentin; De Desmodont; iSE inneres Schmelzepithel; M zu Dentin und Adamantin mineralisierte Matrix; Od Odontoblasten; P Pulpa; Zp Zahnpapille.**

umgewandelt worden sind. Die Ameloblasten synthetisieren die extrazelluläre, organische Schmelzmatrix, die unmittelbar nach der Sekretion zu mineralisieren beginnt. Die Phasen der frühen Mineralisation zeigen die Abbildungen 7c und 8a. Mit der teilweisen Mineralisation der Schmelzmatrix hat der Zahnschmelz seine endgültige Form erreicht. Während der weiteren Schmelzreife nehmen die mineralischen Bestandteile, bei gleichzeitigem Proteinabbau, bis zu einem Mineralisationsgrad von rund 96% kontinuierlich zu. Diese Phase der späten Mineralisation und Schmelzreife zeigen die Abbildungen 7d und 8b.

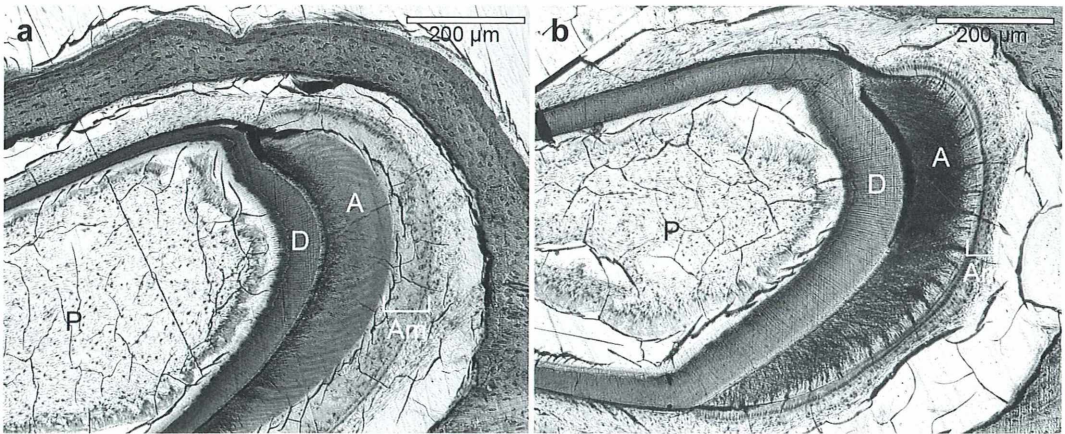
Die gegenüber dem inneren Schmelzepithel entstandenen Odontoblasten sezernieren zunächst ein nicht mineralisiertes Material, das Präden-

tin (Krause und Jennemann, 1995). Dieses wird in Folge einer Mineralisation zum Dentin (Abb. 7c und 7d). Aus der ursprünglichen Zahnpapille geht ferner die Zahnpulpa hervor, die den Zahn mit Blutgefäßen sowie Nerven versorgt (Abb. 4b und 7d). Der hier näher betrachtete Schneidezahn verfügt über keine eigentliche Wurzel, so dass die Entwicklung der Zahnwurzel am ausgewachsenen Tier nicht beobachtet werden konnte.

### Fazit

Auch wenn die Herstellung von Zahnpräparaten grundsätzlich aufwändig ist, so faszinieren die fertigen Resultate umso mehr, eröffnen sie





**Abb. 8:** Zwischenstufen der Zahnschmelzentwicklung (Amelogenese). **a** Von der Dentinegrenzschicht aus reifender Zahnschmelz. A Adamantin (Zahnschmelz); Am Ameloblasten im Zahnsäckchen; D Dentin; P Pulpa. **b** Mineralisierter Schmelz zusammen mit reduziertem Schmelzepithel.

doch – insbesondere bei einer ganzen Schnittserie durch den Kiefer – vielfältige Einblicke in die Entstehungsgeschichte eines Zahnes. Aber auch die hier nicht näher behandelten histologischen Feinstrukturen, beispielsweise des Zahnschmelzes (Bartsch, 2006), bieten interessante Beobachtungsmöglichkeiten.

### Danksagung

Für ihre Hilfe bei der Anfertigung der Zahndünnschliffe danken wir Frau A. Freund, Aachen, ganz herzlich. Unser Dank gilt ferner Herrn Prof. Dr. Prof. h. c. (RCH) A. M. Gressner, Aachen, sowie Herrn Prof. Dr. Dr. C. Stoll, Neuruppin, die uns diese Arbeit ermöglicht haben.

### Literaturhinweise

- Bartsch, J.: Rasterelektronenmikroskopische Darstellung von Schmelzätzmustern – Präparation von Zahnschmelz zur Veranschaulichung der Schmelzprismen. *Mikrokosmos* 95, 329–333 (2006).
- Krause, D., Jennemann, G.: Über die Entwicklung der Zähne. *Mikrokosmos* 84, 349–355 (1995).
- Meyer-Rochow, V. B.: Zähne – eine vergleichend-anatomische Studie. *Mikrokosmos* 66, 301–304 (1977).

- Nanci, A.: Ten Cate's oral histology. Development, structure, and function. 6<sup>th</sup> Edition. Mosby, St. Louis 2003.
- Osborn, J. W.: Dental anatomy and embryology. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1981.
- Sieger, M.: Mikroskopische Beobachtungen an gesunden und kariösen Zähnen des Menschen. I. Schmelz und Schmelzkaries. *Mikrokosmos* 84, 35–41 (1995a).
- Sieger, M.: Mikroskopische Beobachtungen an gesunden und kariösen Zähnen des Menschen. II. Dentin und Dentinkaries. *Mikrokosmos* 84, 117–125 (1995b).
- Silver, L. M.: Mouse Genetics. Oxford University Press, New York 1995.
- Welsch, U.: Lehrbuch Histologie. Elsevier, Urban & Fischer, München 2006.
- Wunderlich, M.: Inspiration Natur – Patentwerkstatt Bionik. Ausstellungskatalog. Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU (Hrsg.) 2006.

**Verfasser:** Dr. Falko Drews, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Institut für Klinische Chemie und Pathobiochemie, Pauwelsstr. 30, 52074 Aachen, E-Mail: [fdrews@ukaachen.de](mailto:fdrews@ukaachen.de); und Dr. Kai Muhlack, Bismarckstr. 8, 59427 Unna.



## Nachricht

### Mikroskopieren auf der Ostseeinsel Hiddensee

Endlich war es wieder so weit: Mikroskopieren auf der schönen Ostseeinsel Hiddensee. Schon Wochen vorher freute ich mich auf dieses Naturerlebnis, vor allem aber freute ich mich auf das Mikroskopieren der diversen Proben mit Gleichgesinnten. Wie auch im letzten Jahr trafen sich die Mikroskopierbegeisterten in Schaprode (Rügen), um gemeinsam mit der Fähre zur Biologischen Station Hiddensee (Außenstelle der Universität Greifswald) überzusetzen. Es war für die Kursteilnehmer des letzten Jahres schön, sich wieder zu treffen und dementsprechend war die Begrüßung in Schaprode sehr herzlich. Während der Überfahrt nach Kloster (Hiddensee) empfing uns der Vitter Bodden mit wunderbarem Sonnenschein und idyllischem Urlaubswetter.

Nach der freundlichen Begrüßung und Einweisung durch Frau Gerlinde Zenke (Biologische Station Hiddensee) richteten sich die Kursteilnehmer für die nächsten Tage im Kursraum sowie in den rustikalen und gemütlichen Unterkünften ein. Die ersten Einkäufe für das gemeinsame morgendliche Frühstück wurden erledigt, und die regelmäßig anfallenden Arbeiten wurden verteilt. Hier zeigte sich wieder einmal wie gut das Zusammenspiel der Gruppe auf Hiddensee funktioniert. Die „Neuen“ begeisterten sich schnell für das gemeinsame Vorbereiten und erledigten die anfallenden Arbeiten rund um das leibliche Wohl. Sehr schnell war die Gruppe wieder eine kleine, gut funktionierende Familie. Auch das zeichnet für mich das gemeinsame Erlebnis Mikroskopieren auf Hiddensee aus.

Doch schon am zweiten Tag zeigte die Sonneninsel uns eines ihrer anderen Gesichter: Regen und Wind verbannten uns den größten Teil des Tages in den Kursraum. Es wurden Planktonproben vom Hafen in Kloster genommen und die dankenswerterweise von

Eva Remke, Doktorandin der Biologischen Station, rund zwei Wochen vorher ausgehängten Aufwuchsobjektträger geborgen und mikroskopiert. Mit großer Begeisterung entdeckten die Kursteilnehmer diverse Glockentierchen, Suctorien, Amöben (Abb. 1), verschiedene Algenarten und zahlreiche weitere Mikroorganismen. Prof. Klaus Hausmann erläuterte uns am Videomikroskop anhand der vorhandenen Proben den komplizierten Lebenszyklus des sessilen Ciliaten *Folliculina*.

Am dritten Tag änderte sich das Wetter wieder zum Guten, und wir erkundeten den nördlichen Teil der Insel rund um den Dornbusch (Abb. 2). Wir wanderten über den Leuchtturm bis hin zum Enddorn. Auf dem Rückweg wurden Proben genommen und zur Freude einiger Kursteilnehmer fand sich in der Probe aus einer Viehtränke *Haematococcus pluvialis* (Blutregenalge), an der man sehr schön die charakteristische Gallertschicht und die zwei Geißeln erkennen konnte.

Auch dieses Jahr war wieder ein Heideeinsatz geplant. Gleich nach dem Frühstück fuhren die Kurs-

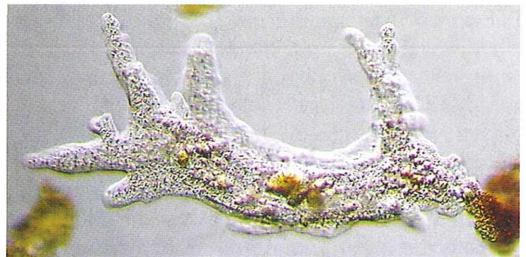


Abb. 1: *Amoeba proteus* (Foto: Wolfgang Bettighofer, Kiel).



Abb. 2: Ein Teil der Gruppe beim Dornbusch (Foto: Sascha Buchczik, Berlin).

## 30 Kurze Mitteilung

teilnehmer per Fahrrad in das Naturschutzgebiet Dünenheide. Die Einführung durch Dr. Sven Dahlke (Biologische Station Hiddensee) über die Kulturlandschaft Heide, das Naturschutzgebiet und die dort vorhandene Fauna und Flora brachte uns die Zusammenhänge auf der Insel Hiddensee näher. Nach dem Suchen und Auffinden von zwei verschiedenen Sonnentauarten wurden in der Nähe der Ferienanlage Heiderose Äxte ausgeteilt. Da die Heide eine Kulturlandschaft ist, muss diese auch regelmäßig gepflegt (verjüngt) werden, da sonst eine unerwünschte Verbuschung und schließlich Verwaldung der Heide erfolgen würde. Nach diesem schweißtreibenden Arbeitseinsatz, bei dem die Kursteilnehmer mit vereinten Kräften einiges an Baum- und Buschwerk aus der Heide schlugen (Abb. 3), ging es zurück zum Kursraum, um die auf dem Heimweg gesammelten Planktonproben zu sichten.

Der Freitag war von Sturm und Regenwetter geprägt. Vormittags wurden die diversen Proben mikroskopiert. Leider musste eine geplante Schiffsausfahrt wegen der schlechten Witterung ausfallen. Am Abend hielt Dr. Reinhard Schmidt (ehemaliger Leiter der Vogelwarte Hiddensee) im Nationalparkhaus nahe Kloster einen Vortrag über die Vogelwelt Hiddensees.

Am Samstag fuhr ein Teil der Kursteilnehmer zum Altbessin, um Seeadler und andere ornithologische Besonderheiten zu beobachten. Andere Kursteilnehmer sind an der Nordseite Hiddensees auf Bernstein-suche gegangen. Der Rest blieb im Kursraum und mikroskopierte Proben aus dem am südlichen Ende



**Abb. 3: Mikroskopiker beim Heideeinsatz**  
(Foto: Sascha Buchczik, Berlin).

der Dünenheide gelegenen Froschteich. Hier beobachtete ich eine Amöbe bei der Nahrungsaufnahme von *Gonyostomum semen* (drei Algen in wenigen Minuten).

Nach dem abendlichem Essen am Hafen, im Restaurant Hittim, trafen sich die Kursteilnehmer noch im Doktorandenhaus der Station, um den Kurs zu besprechen und bei einem Bier und angeregten Gesprächen die Woche ausklingen zu lassen.

Mit schwerem Herzen und dem Gefühl, dass eine Woche einfach zu wenig Zeit für eine nicht nur mikroskopisch vielseitige Insel ist, verließen wir am Sonntag Hiddensee, allerdings nicht ohne uns gegenseitig zu versichern, dass wir uns nächstes Jahr wieder auf Hiddensee zum gemeinsamen Mikroskopieren treffen wollen.

Sascha Buchczik, Berlin

## Kurze Mitteilung

### Seide als Klebstoff

Spinnen spinnen Fäden, um damit Netze zu weben, die unter anderem dem Fang von Beute dienen. Diese Seidenfäden für den Netzbau werden von abdominalen Spinndrüsen geliefert. Es war die Entdeckung einer deutsch-amerikanischen Forschergruppe (aus Stuttgart, Tübingen, Ulm, Jena, Riverside, Irvine), dass die Zebra-Vogelspinne (*Aphonopelma seemanni*) aus Costa Rica auch seidenartige Klebefäden an den Füßen produziert.

An sich haben die Spinnenfüße ein so genanntes trockenes Haftsystem, das auf den van-der-Waalschen Kräften beruht und durch tausend kleinere Haare zustande kommt. Der neu entdeckte Haftmechanismus beruht auf Dutzenden von Fäden aus proteinhaltigem Material, die einen Durchmesser von 0,2 bis 1,0 Mikrometern und eine Länge von 10 bis 2.500 Mikrometern haben. Diese Fäden werden als klebrige Flüssigkeit am Spinnenfuß ausgeschieden, verhärten und kleben dann am Substrat fest. Diese tarsale Seide ermöglicht es der Vogelspinne, sich an glatten, vertikalen Flächen wie beispielsweise Glas fortzubewegen. Lässt man die Vogelspinne über ein Deckglas laufen, so kann man die Spuren der Klebseide beobachten.

rometern haben. Diese Fäden werden als klebrige Flüssigkeit am Spinnenfuß ausgeschieden, verhärten und kleben dann am Substrat fest. Diese tarsale Seide ermöglicht es der Vogelspinne, sich an glatten, vertikalen Flächen wie beispielsweise Glas fortzubewegen. Lässt man die Vogelspinne über ein Deckglas laufen, so kann man die Spuren der Klebseide beobachten.

#### Literaturhinweis

Gorb, S. N., Niederegger, S., Hayashi, C. H., Summers, A. P., Vötsch, W., Walther, P.: Silk-like secretion from tarantula feet. An unsuspected attachment mechanism may help these huge spiders to avoid catastrophic falls. *Nature* 443, 407 (2006).

H. F. Linskens, Nijmegen

# Begegnung mit *Arachnidiopsis paradoxa*

Martin Kreutz

**Wer wird ihn wiederfinden; wer wird mir sagen (können), was es ist? So beginnt Eugène Penard seinen Artikel von 1937, in dem er den überaus seltsamen und seltenen *Arachnidiopsis paradoxa* ausführlich beschreibt. Genau 60 Jahre nach Penard habe ich *Arachnidiopsis* zwar wiedergefunden, jedoch bleibt die Frage nach seiner taxonomischen Stellung weiterhin unbeantwortet.**

**D**er jetzige Fundort ist das Simmelried bei Konstanz, welches ich seit 15 Jahren intensiv untersuche (Kreutz und Foissner, 2006). In dieser Zeit habe ich nur zwei Exemplare von *Arachnidiopsis paradoxa* in den obersten 10 cm des Faulschlamm am Abfluss dieses Feuchtgebietes gefunden. Das erste Exemplar im Juli 2006 und das zweite im November 2006. Damit stellt dies den derzeit einzig bekannten Fundort für *A. paradoxa* dar. Die Fundorte von Penard waren der „Sumpf von Pinchat“ und der „Teich von l'Ariana“. Der erstgenannte Fundort befand sich wahrscheinlich südlich von Genf, wo es heute einen Ortsteil mit dem Namen Pinchat gibt. Man muss davon ausgehen, dass dort kein Sumpf mehr existiert. Der zweite Fundort war mit hoher Wahrscheinlichkeit im Parc de l'Ariana im Zentrum von Genf lokalisiert. Diesen Teich beschreibt Penard als besonders reichhaltigen Fundort von *A. paradoxa*, der aber dann zugeschüttet wurde zum Bau des Palais des Nations.

## Die Tentakel

Bei meiner ersten Begegnung mit *A. paradoxa* glaubte ich einen kugelig geformten Flagellaten vor mir zu haben, denn als auffälligstes Merkmal entspringen seitlich am Vorderende zwei mächtige Tentakel (Abb. 1–3). Man möchte nicht die Begriffe Geißeln oder Flagellen verwenden, da sie im Gegensatz zu diesen dick und hyalin sind. Außerdem verjüngen sie sich zu einem spitzen Ende. Sie befinden sich in einer permanenten ruderartigen Bewegung und verdrehen sich oft spiralig. Nach meinen Messungen sind sie an der Basis 2,2–4,5  $\mu\text{m}$  dick

und circa 30  $\mu\text{m}$  lang. Die Form des Querschnittes war schwer zu erkennen, erschien mir jedoch oval und nicht drehrund. Entgegen einer Skizze von Penard (Abb. 4), konnte ich eine Torsion der Tentakel entlang ihrer Längsachse nicht beobachten. Außerdem erschienen mir die Tentakel völlig homogen hyalin. Dies widerspricht den Beschreibungen von Penard, der die Tentakel als hohle, mit Wasser gefüllte Schläuche beschreibt. Nach der Entleerung des Wassers sollen die Tentakel bandartig abgeflacht sein. Nach Penard sollen die Enden der Tentakel die Fähigkeit besitzen, sich an Objekten festzuheften. Diese Eigenschaft konnte ich nicht überprüfen, da ich die Exemplare vor der Untersuchung isoliert habe. An den Tentakeln waren jedoch keinerlei festgeheftete Bakterien oder Detritusteile zu erkennen. Weiterhin konnte Penard beobachten, dass die Tentakel kontraktile sind und sich zu kurzen Stümpfen einziehen lassen. Auch diese Fähigkeit konnte ich an meinen Exemplaren nicht überprüfen. Jedoch konnte ich deutlich sehen, dass die Tentakel nicht aus einer hyalinen, apikalen Kappe entspringen, wie Penard es gezeichnet hat, sondern kurz unterhalb des vorderen Zellpols zu beiden Seiten.

## Der amöboide Charakter

Die von mir gefundenen Exemplare waren 25 und 30  $\mu\text{m}$  lang, was an der unteren Grenze der Längenangabe von 30–48  $\mu\text{m}$  durch Penard liegt. Der Zellkörper ist oval und erscheint am Hinterende manchmal etwas zugespitzt. Er ist völlig glatt und frei von Cilien. Gleich bei meinem ersten Fund konnte ich die ganz erstaun-



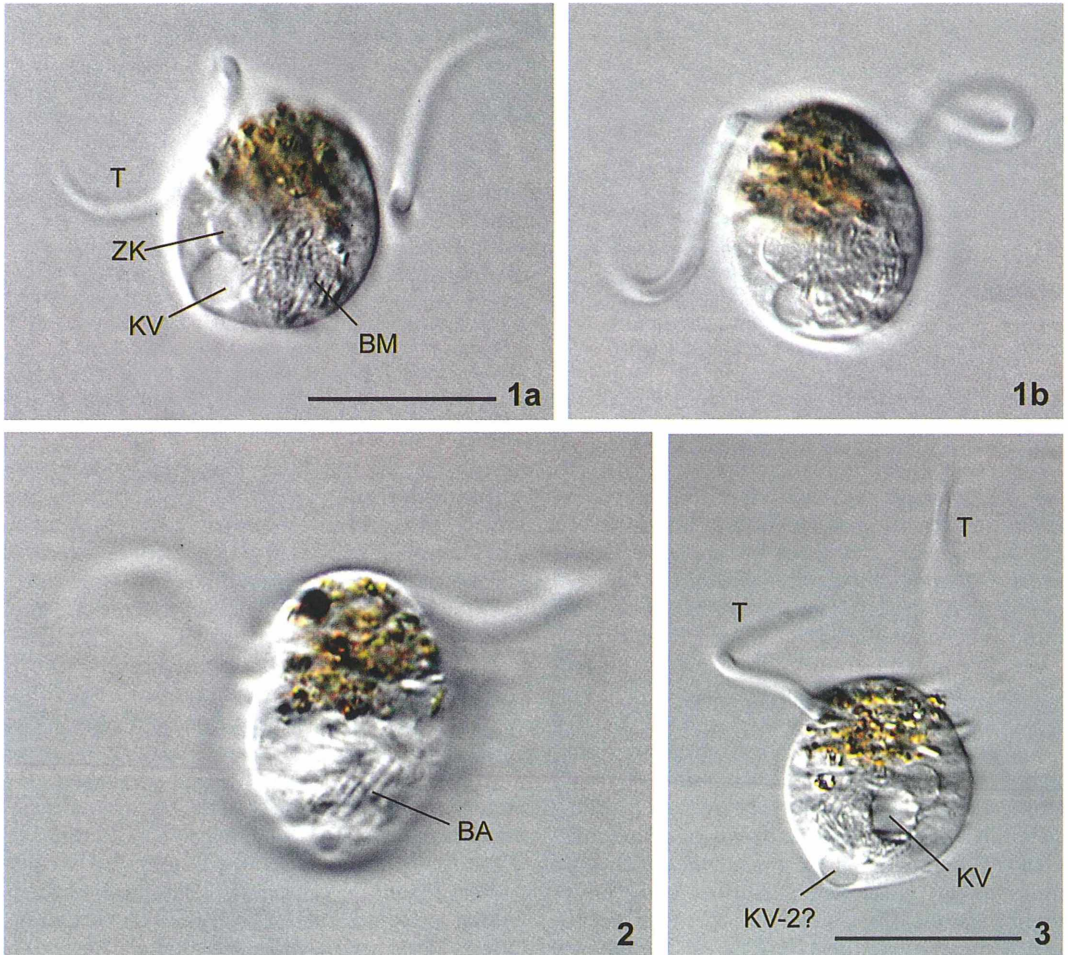


Abb. 1a und b: Zwei typische Bewegungszustände von *A. paradoxa*. Das gezeigte Exemplar ist 25  $\mu\text{m}$  lang und die deutlich sichtbaren Tentakel (T) etwa 30  $\mu\text{m}$ . Im Zellinneren sind der Zellkern (ZK, 6  $\mu\text{m}$ ), die kontraktile Vakuole (KV, 6  $\mu\text{m}$ ) und eine sphärische Bakterienmasse (BM, 10  $\mu\text{m}$ ) zu erkennen. – Abb. 2: Fokus auf den Randbereich der sphärischen Bakterienmasse. Hier sind deutlich einzelne Stäbchenbakterien (BA) mit einer Länge von 4–6  $\mu\text{m}$  zu erkennen. – Abb. 3: Diese Aufnahme gibt Anlass zu der Annahme, dass *A. paradoxa* eventuell zwei kontraktile Vakuolen (KV-1 und KV-2) besitzt. Diese zweite Vakuole konnte jedoch nur einmal beobachtet werden und ist daher unsicher. Maßstriche 20  $\mu\text{m}$ .

liche Fähigkeit von *A. paradoxa* zu einer amöboiden Bewegung beobachten. Diese erfolgte am hinteren Körperdrittel. Von dort aus können feine, tropfenförmige Filopodien als auch lobose Pseudopodien ausstrahlen, welche sich in lebhafter Bewegung finden (Abb. 5). Setzt diese amöboide Bewegung ein, so ist die Form des gesamten Hinterendes davon betroffen. Wodurch diese amöboide Bewegung ausgelöst

wird, und welchen Zweck sie hat, bleibt unklar. Eventuell hängt sie mit der Nahrungsaufnahme zusammen, denn das vordere Körperdrittel war stets mit braunem Detritus oder Verdauungsrückständen gefüllt. Diese Fähigkeit zu einer amöboiden Bewegung wurde auch schon von Penard beschrieben. Das zweite Exemplar zeigte keinerlei Anstalten, Filopodien zu bilden und blieb formkonstant.

Abb. 4: Die Originalzeichnungen von Penard aus seinem Artikel von 1937. Die Abbildungen 1 und 2 zeigen verschieden ausgeprägte Körperformen. Die Tentakel können nach Penard eingezogen werden (3) oder sich an Objekten wie Fadenalgen festheften (4). Schließlich stellt die Zeichnung 5 ein Exemplar mit bandartig abgeflachten Tentakeln dar.

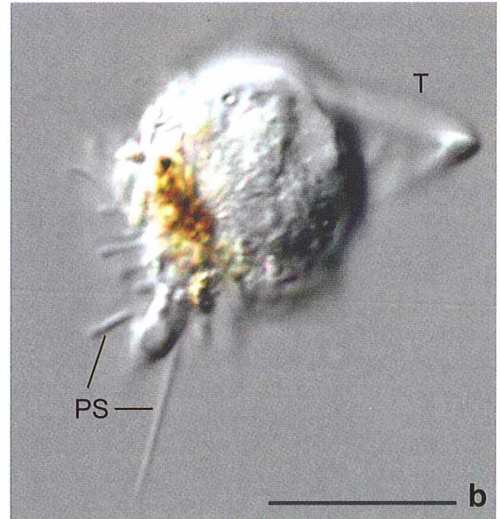
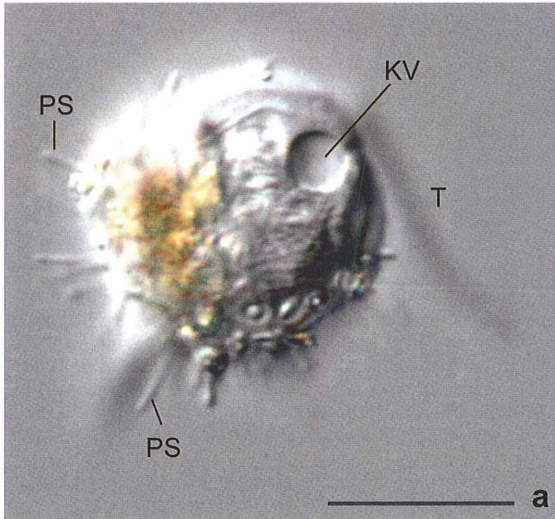
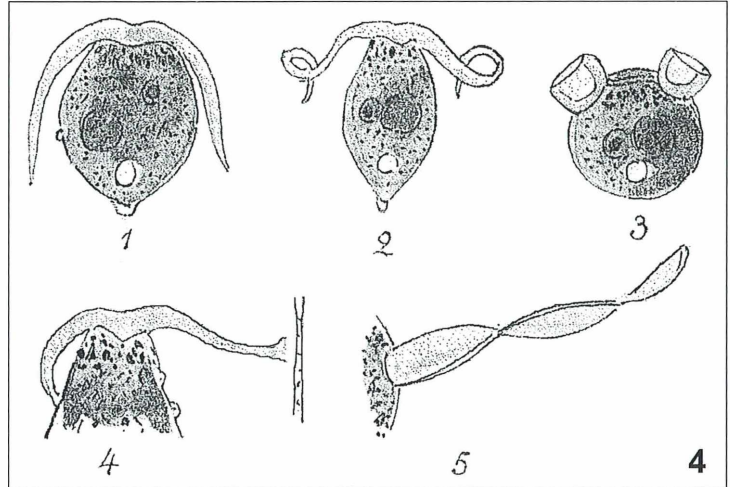


Abb. 5a und b: Bei dem ersten gefundenen Exemplar von *A. paradoxa* war der gerade beginnende Prozess einer amöboiden Bewegung zu beobachten (Abb. 5a). Das Exemplar ist von schräg hinten getroffen. Die bereits gebildeten, etwa 5 µm langen Pseudopodien (PS) besitzen ein tropfenförmiges Ende und verlängerten sich innerhalb von Sekunden um das Doppelte (Abb. 5b). KV kontraktile Vakuole, T Tentakel. Maßstriche 20 µm.

### Das Zellinnere

Mein erstes Exemplar konnte ich leider nicht mit Ölimmersion studieren, da es bereits nach wenigen Minuten unter dem Deckglas platzte. So blieb die wichtige Frage der Kernverhältnisse und der seltsamen „sphärischen Masse aus vielen Stäbchen“, die Penard beschreibt, vorerst ungeklärt. Insbesondere die Kernver-

hältnisse sind wichtig für die taxonomische Einordnung. Ein Kerndualismus, das heißt das Vorhandensein eines Makronukleus und Mikronukleus, würde auf einen Ciliaten hindeuten. Mein zweites Exemplar entdeckte ich erst nach Auflegen des Deckglases. Dadurch war ein Isolieren nicht mehr möglich und der mit eingeschlossene Detritus verhinderte eine optimale Einstellung der Schichtdicke. Somit



## 34 Buchbesprechung

war die anschließende Beobachtung mit Ölimersion nicht bei der optimalen Auflösung möglich. Trotzdem ließ sich ein deutlicher, runder Zellkern von 6 µm Durchmesser erkennen. Er ist einem 10–12 µm messenden, sphärischen Körper angelagert, der offensichtlich aus Bakterien zusammengesetzt ist. Diese ließen sich im Fokus auf der Außenschicht dieses Körpers deutlich erkennen (Abb. 1 und 2). Es handelte sich um 6–7 µm lange Stäbchenbakterien. Im Inneren dieses Körpers ließ sich keine abgegrenzte, granuläre Masse erkennen, was auf einen mit Bakterien bedeckten Kern hingedeutet hätte (in diesem Fall dann der Makronukleus). Einige Amöbenarten, wie beispielsweise *Pelomyxa palustris*, besitzen Zellkerne, welche mit einer Schicht aus symbiontischen Bakterien belegt sind. Im hinteren Körperdrittel war bei meinem ersten gefundenen Exemplar deutlich eine kontraktile Vakuole zu erkennen (Abb. 1), während die Auswertung der Aufnahmen vom zweiten Exemplar Hinweise auf zwei kontraktile Vakuolen lieferte (Abb. 3).

### Taxonomische Fragen

Obwohl ich durch meine Untersuchungen an den Protozoen des Simmelrieds eine gewisse Erfahrung bei der Klassifizierung von Protozoen sammeln konnte, stellt *A. paradoxa* mit Sicherheit eine taxonomische Kuriosität dar. Auch Penard konnte keine Zuordnung vornehmen, hielt den runden Zellkern jedoch typisch für „Infusoiere“, auch wenn er keinen Mikronukleus sicher ausmachen konnte. Diese Bemerkung von Penard veranlasste offensichtlich

Alfred Kahl, diese Spezies in seinem bekannten Werk über die Ciliaten mit aufzunehmen (Kahl, 1935). Hier wird *A. paradoxa* als *Ciliat unsicherer Stellung* geführt. Da der Nachweis eines Mikronukleus weiter aussteht, trifft diese Definition auch heute noch zu. Einige Merkmale, wie der amöboide Charakter als auch die Anhäufung von symbiontischen Bakterien legt auch eine Verwandtschaft mit den Amöben nahe. Seinen Lebensraum im Simmelried teilt *A. paradoxa* mit sehr vielen Amöben, welche sich an die Lebensweise im Faulschlamm angepasst haben, wie *Pelomyxa*, *Polychaos* oder *Trichamoeba*. Man kann nur auf weitere Funde hoffen, welche eingehendere Untersuchungen zur Klärung der taxonomischen Stellung zulassen.

### Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Tina Pütz für die Übersetzung des Artikels von Eugène Penard aus dem Französischen.

### Literaturhinweise

- Kahl, A.: Urtiere oder Protozoa (Infusoria). In: Dahl, F. (Hrsg.): Die Tierwelt Deutschlands. Gustav Fischer Verlag, Jena 1935.  
 Kreutz, M., Foissner, W.: The *Sphagnum* ponds of Simmelried in Germany: A biodiversity hot-spot for microscopic organisms. Protozoological Monographs, Vol. 3. Shaker Verlag, Aachen 2006.  
 Penard, E.: L'*Arachnidiopsis paradoxa*. Bull. Soc. Franç. Micr. Paris 6, 20–21 (1937).

Verfasser: Dr. Martin Kreutz, Magdeburger Str. 2, 78467 Konstanz, E-Mail: [makreu@gmx.de](mailto:makreu@gmx.de)

## Buchbesprechung

Eichhorn, M. (Hrsg.):  
**Langenscheidt Fachwörterbuch  
 Kompakt: Biologie Englisch-  
 Deutsch, Deutsch-Englisch.**  
 Langenscheidt, Berlin 2007,  
 1092 Seiten,  
 Kunststoffeinband, € 39,90,  
 ISBN 978-3-86117-274-1.

Nun ist auch, wie vor kurzem für die Chemie geschehen, eine aktualisierte Form des Kompakt-Fachwörterbuchs Biologie Englisch verfügbar. Die, welche es in ihrem Beruf oder aber auch für ihr Hobby nutzbringend einsetzen wollen, werden sich über diese neue Auflage freuen, die um

8.000, insbesondere den Fachgebieten Biochemie, Entwicklungsbiologie und Neurobiologie zuzuordnenden Fachbegriffe erweitert wurde und somit rund 47.000 Einträge umfasst.

Wilhelm Wagner, Essen



## Aus der Industrie

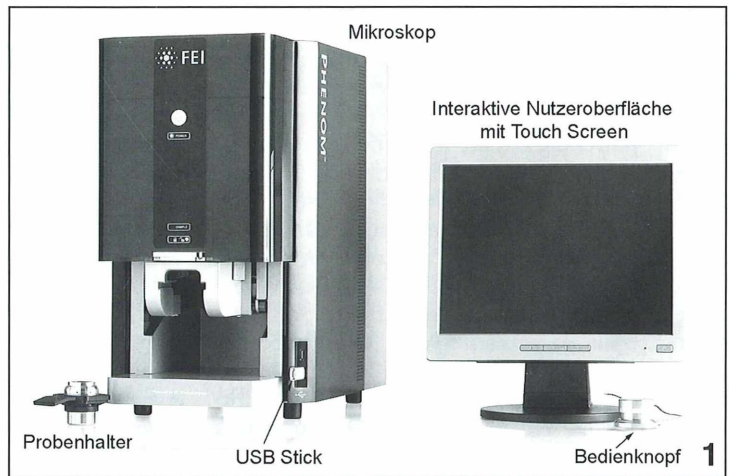
### PHENOM™ – Der neue Mikroskoptyp der FEI Company mit der Leistung eines Elektronenmikroskops zum Preis eines Lichtmikroskops

Weil praktisch jeder Benutzer das Instrument nach nur wenigen Minuten bedienen kann und innerhalb von Sekunden Vergrößerungsergebnisse bis auf die Nanoebene mit in dieser Kategorie nie da gewesener Qualität vorliegen, eröffnet FEI Company (ehemals Philips) mit PHENOM (Abb. 1) eine Vielzahl neuer und produktiver Einsatzmöglichkeiten in der Industrie und Wissenschaft. PHENOM wendet sich an Nutzer aus dem Umfeld der Industrie und Forschung und wird mit einem Preis von 62.000 Euro auch für kleinere Unternehmen und Einrichtungen einen praktikablen und erschwinglichen Zugang zur Mikroskopiewelt schaffen.

PHENOM schlägt eine Brücke zwischen der Licht- und Elektronenmikroskopie. Mit dem nur 30 × 60 × 50 Zentimeter großen

Gerät kommt ein neuartiger Typ von Mikroskop auf den Markt, der bequem auf jedem Tisch Platz findet und ohne speziell geschultes Personal und aufwändige Laborbedingungen auskommt. Das Mikroskop im Tischformat zeichnet sich durch seine einfache Bedienbarkeit, leichte Integrierbarkeit, niedrige Betriebskosten und schnellen Probendurchsatz aus.

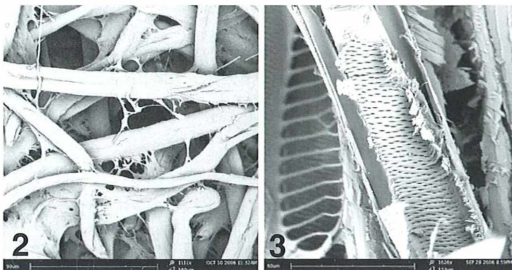
**Abb. 1: PHENOM-Mikroskop der FEI Company mit 15-Zoll Touch Screen.**



Innerhalb kürzester Zeit ist ein Untersuchungsgegenstand in die Probenschleuse eingelegt, nach etwa 30 Sekunden liegt das Ergebnis auf dem Bildschirm/Touchscreen vor: Mit wahlweise 20- bis 20.000facher Vergrößerung, einzigartiger Bildqualität und einer Partikelauflösung bis circa 30 Nanometer.

PHENOM findet sein Einsatzfeld überall dort, wo rasch und zuverlässig Erkenntnisse über Zustand und Beschaffenheit von Oberflächen gewonnen werden müssen. PHENOM kommt in der Metall-, Kunststoff- oder Papierindustrie, im medizinischen, biologischen oder pharmazeutischen Bereich als Instrument zur Kontrolle von Fertigungs- und Qualitätsmanagement-Prozessen zum Einsatz. PHENOM identifiziert Morphologien auf Partikelebene, unterstützt bei der Untersuchung von Gefügeveränderungen und ist ein ideales Werkzeug beim Aufspüren von Bruch- und Schadensereignissen.

Weitere Informationen finden sich unter [www.phenom-world.com](http://www.phenom-world.com).



◀ Abb. 2: Filterpapier. – Abb. 3: Holz.

## Mein Mikro-Makro-Thespis-Karren – Das kleine Welttheater auf Rädern

Erich Lühje

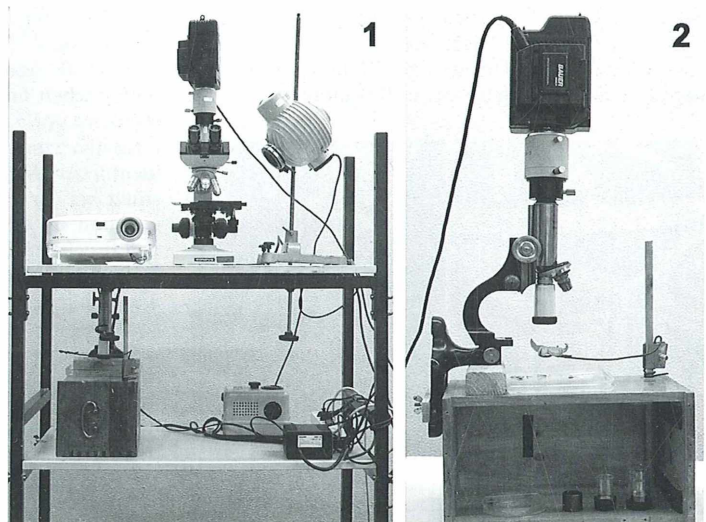
**Thespis, der älteste griechische Tragiker, führte 536–533 vor Christus in Athen die erste Tragödie auf. Er soll dem Dichter Horaz zufolge mit Wagen umhergezogen sein. Soweit Lexikon und Literaturgeschichte zum Stichwort Thespis-Karren. Und wo steht etwas von Mikroskopie?**

**Der Vergleich mit einem Gefährt, mittels dessen ich an meinem Gymnasium Makro- und Mikroskopie ins Rollen gebracht habe, scheint mir nicht unbillig zu sein. Auch meine Requisiten umweht ein Hauch von Antike, und auch meine Aufführungen können ein (Schüler-)Publikum unterhalten.**

**Z**ur medialen Ausstattung unserer Fachschaft Biologie zählt unter anderem eine veraltete Videokamera (Firma Bauer-Bosch). Jahrelang dachte niemand mehr daran, dieses klobige Gerät noch einzusetzen. Eine Flex-Videokamera hatte sie längst ersetzt. Als eines Tages aus externen Institutsbeständen etliche ausgemusterte Mikroskope in meine Hände gelangten, setzte ich aus diesen Altutümern eine Projektionseinheit für Auflichtmikroskopie zusammen (Abb. 1). Diese eher selten geübte Disziplin hat im Unterricht als Brücke zwischen dem Maßstab einer nah akkommodierten Videokamera und der üblichen Durchlichtmikroskopie durchaus ihre Berechtigung. Ich montierte ein altes Voigtländer-Stativ ohne Präparattisch, Kondensor und Spiegel auf

einen umgebauten KOSMOS-Mikroskopkasten (Abb. 2). Ein schwenkbarer Drahtarm präsentiert die Objekte in Knetgummihalterung oder sie liegen auf einer Petrischale oder Ähnlichem im Fokusbereich. Als Tiefstrahler liefert eine imposante Zeiss-Lampe das erforderliche starke Auflicht (Einlegeblenden in den Objektiven!). Das erfasste Bildfeld ist je nach verwendeter Optik sieben bis zwei Millimeter breit (in Kombination mit einem 5x-Okular). Damit liegt es zwischen Flex-Videokamera (minimale Bildbreite ca. 25 Millimeter bei sehr geringem Arbeitsabstand) und mikroskopischer Abbildung beim 4x-Objektiv (ca. 3,2 Millimeter Bildbreite).

Als ideal für die Auflichtmikroskopie erwies sich ein Zeiss-Winkel-Objektiv 00 (ca. 2x) mit



**Abb. 1: Videomikroskop für Durchlicht (oben) und Auflicht (unten) mit Beleuchtungsanlage und Beamer auf einem fahrbaren Projektionstisch. – Abb. 2: Voigtländer-Stativ für Auflichtmikroskopie auf einen KOSMOS-Mikroskopkasten montiert.**



sehr großem Arbeitsabstand. Es stellt einen Bildausschnitt von 5 Millimetern Breite dar. Nachdem ich aus einer Objektivhülse mit durchbohrtem Deckel und Boden einen Adapter für eine -9,5-Dioptrienlinse gefertigt und diesen am Zeiss-Winkel-Objektiv angebracht hatte, vergrößerte sich das Bildfeld auf sieben Millimeter. Den Deckel mit der eingelegten Linse kann ich nach Belieben an- und abschrauben. Ein weiteres Uraltobjektiv ohne eingravierte Daten erhöht den Vergrößerungsmaßstab um mehr als das Doppelte (erfasste Bildbreite jetzt zwei Millimeter). In diesen Bereich fallen etliche unterrichtsrelevante Motive, wie einige Beispiele noch erhellen werden.

### Mikroskopie auf Rollen

Um den Einsatz der Ausrüstung in verschiedenen Räumen zu erleichtern, installierte ich alles Erforderliche gebrauchsfertig auf einem zweistöckigen Rollwagen. Hier steht alternativ zum Voigtländer-Auflichtmikroskop auch ein Olympus-Mikroskop mit Kamera-/Videoanschluss bereit (vgl. Abb. 1), so dass mit wenigen Handgriffen von Auflicht- auf Durchlichtprojektion umgerüstet werden kann. Ein Beamer bringt das Bild auf die Projektionsfläche. Wenn *Der Welten Kleines* zur Aufführung gelangen soll, muss nur ein einziger Stecker in die Steckdose.

Ihren ersten Praxistest bestand meine mediale Wanderbühne bei Live-Übertragungen aus Mehlkäferzuchten. Jeden Freitag stellten meine

Untertertiärer per Videoprojektion vor, was sich in ihren Zuchtgefäßen tat – krabbelnde Larven, erste Häutungen, Exuvien mit anhängenden Tracheen, weißliche, bräunliche und schwarze Mehlkäfer. Mit Knetgummi im Fokus des Zeiss-Winkel-Objektivs fixiert, präsentierten die Kerfe ihre Mundwerkzeuge, ließen Gelenkhäute und Stigmen erkennen und blickten mit ihren Komplexaugen in den Fachraum. Natürlich wollte jeder Schüler seine Stars auf Sendung gehen lassen.

Lehrplangemäß hieß die nächste Inszenierung wenig später *Bau und Lebensweise eines Einzellers – Lebendbeobachtungen an Einzellern*, z.B. *Pantoffeltierchen*, *Euglena*. Darsteller waren jetzt Ciliaten und Co. im mikroskopischen Durchlicht bei zehn- bis vierzigfacher Objektvergrößerung (10x-Projektiv). Für Detailbeobachtungen bewährte sich glänzend ein altherwürdiges Hensoldt-Trocken-Objektiv 60x (auf Abb. 2 im Kasten unten rechts).

Im 13. Jahrgang lief zeitgleich das Projekt *Punica III – Ein Experiment zur Gewässerökologie*. Nachdem die Arbeitsgruppen ihre Objektträger nach sechswöchiger Exposition aus den unfunktionierten Saftflaschen entnommen und mit Giemsa-Lösung angefärbt hatten, untersuchten sie zunächst deren Aufwuchs. Vom Thespiis-Karren aus projizierten sie sodann vor dem Plenum höchst anschaulich und nachvollziehbar ihre Befunde.

Umgekehrt erhielten sie per Auflichtmikroskopie einen Einblick in das Thema *Stadtökologie*: An der Hörsaalwand (Abb. 3) waren deutlich das Silber-Birnmoos und Rollblättriges Bärtchenmoos (*Bryum argenteum* und *Barbula convoluta*) aus einer Pflasterfuge zu erkennen und konnten mit dem vergesellschafteten Mastkraut (*Sagina procumbens*) verglichen werden. Eindrucksvoll größer als die zarten Moose erschien diese Blütenpflanze, wiewohl selber ein Winzling. Die Projektion geriet zu einem Lehrstück über verschiedene Möglichkeiten der Trockenanpassung. Intuitiv schlossen die Kurs Teilnehmer aus der Blattform des Mastkrauts auf Sukkulenz (Wasserspeicherung im Blattinneren). Bei stärkster Vergrößerung waren sogar die Spaltöffnungsapparate als Regulatoren der Wasserdampfabgabe zu erkennen. Demgegenüber signalisierte das dochtartig gebaute Silber-Birnmoos kapillare Wasserbindung zwischen Blättchen und Stämmchen.

Ob all dies ohne den Thespiiskarren in nur einer Schulstunde zu erreichen gewesen wäre?

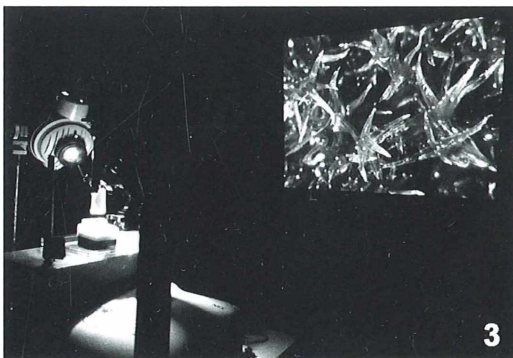


Abb. 3: Projektion eines *Barbula convoluta*-Rasens aus einer Pflasterritze mit Hilfe des Auflichtmikroskops aus Abbildung 2.



### Mikroprojektion im Rückblick

Thespis, Athen, Antike – erhabene Assoziationen für mein bescheidenes Vehikel. Aber 100 Jahre MIKROKOSMOS sind schließlich auch schon eine stattliche Epoche, und so stöberte ich in den alten Bänden unseres Journals nach Vorgängern und Gleichgesinnten.

Bei kursorischer Lektüre stieß ich zum ersten Mal im 5. Jahrgang (1911/12) auf einen Vorläufer meiner Ausrüstung, und zwar auf den EWON-Scheinwerfer mit selbst regulierender Bogenlampe (Abb. 5). *In der allerletzten Zeit ist [...] eine Neukonstruktion auf den Markt gekommen, die man schlechthin als das Ideal des Mikroskopikers, sei er nun Liebhaber oder Fachmann, bezeichnen kann [...]. Ohne Gehäuse und Stativ verwendet, ist sie auch für Projektionszwecke außerordentlich brauchbar.* Man muss sich hüten, über dieses archaisch anmutende Produkt der Firma Gustav Geiger, München, überlegen zu lächeln. Denn selbstverständlich fühlten sich die Mikroskopiker der MIKROKOSMOS-Gründerjahre genauso als moderne Menschen wie wir. Mikroskopie

auf der Höhe jener Zeit sah – vielleicht etwas idealisiert – so aus, wie auf Abbildung 4 dargestellt.

Im MIKROKOSMOS 7 (1913/14) wurde ich erneut fündig (Abb. 6): Eine einfache Anordnung für ein Projektionsmikroskop: *Als Mikroskop läßt sich jedes bis 90° umlegbare, mit einem guten Kondensor versehene Stativ verwenden. Zur Beleuchtung ist eine starke Lichtquelle nötig; am besten benützt man also eine Bogenlampe. Mikroskop und Lichtquelle sind hintereinander auf einem an der Wand befestigten, als optische Bank dienenden Eisenträger verstellbar angeordnet. Das vom Mikroskop entworfene Bild fällt auf einen an der Wand angebrachten Schirm. Die mit geringen Kosten herzustellende Anordnung eignet sich vor allem für Vorführungen, bei denen es sich nur um eine geringe Hörerzahl handelt.*

Nächster Fund im MIKROKOSMOS 8 (1914/15; Abb. 7): *Ein einfacher Mikroprojektionsapparat wird wie folgt beschrieben: Die abgebildete Lampe soll auf den Mikroskopspiegel ausgerichtet werden. Das projizierte Bild erscheint dann an der Zimmerdecke oder wird mit einem*

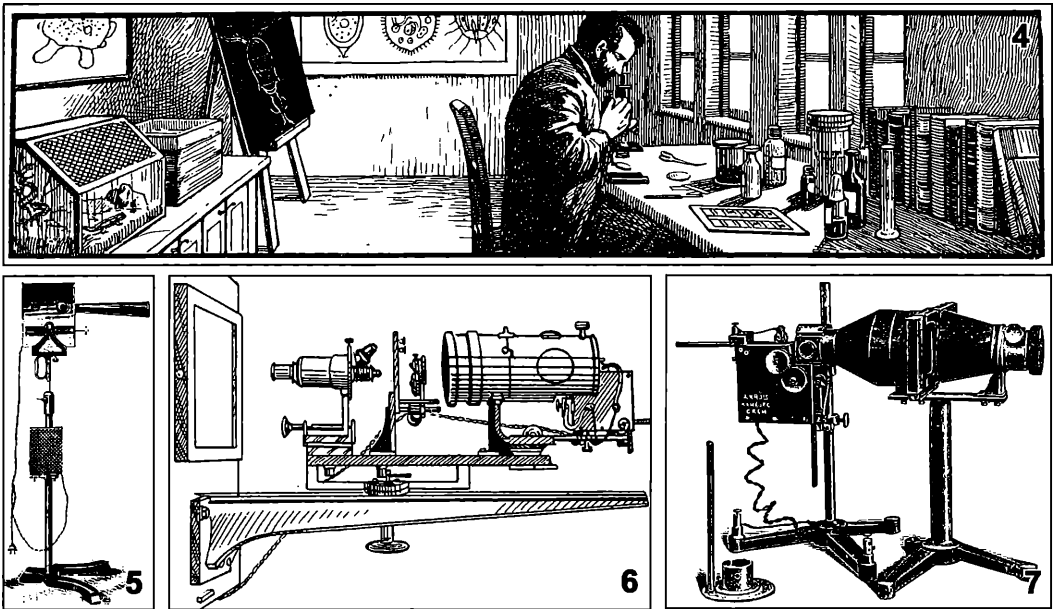
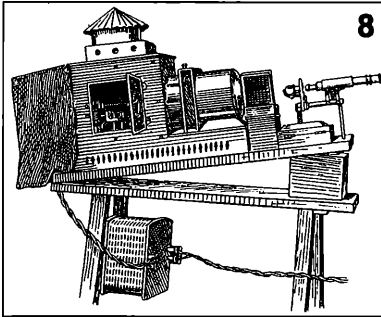
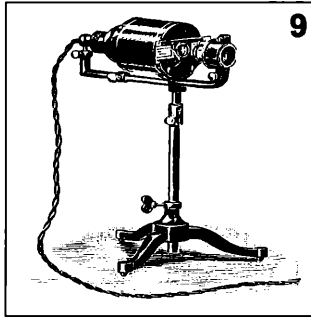


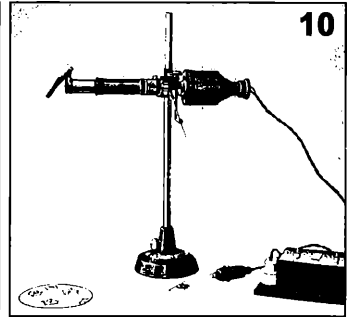
Abb. 4: Mikroskopie im Labor um 1910 – Das (Ideal-)Bild auf der Seite 1 etlicher MIKROKOSMOS-Jahrgänge. – Abb. 5: EWON-Scheinwerfer, System G. Geiger, München. – Abb. 6: Projektionsmikroskop ohne Markenangabe. – Abb. 7: Verwendung der Bogenlampe zur Mikroprojektion (Firma A. Krüss, Hamburg).



8



9



10

**ZEISS**

Neuer vereinfachter

**MIKRO -****PROJEKTIONSAPPARAT**

11

Für  
Vorträge, Vorlesungen  
Schulen, Institute usw.

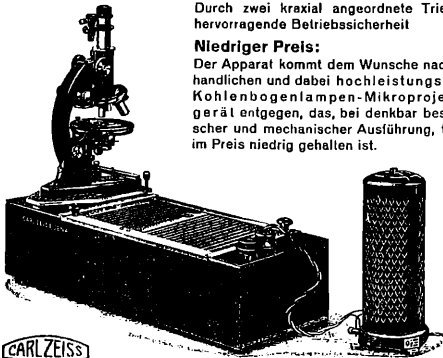
**Besondere Vorzüge:**

Kohlenbogenlampe als Lichtquelle  
Einfachste Handhabung  
Große Lichtstärke — fast keine Erwärmung des  
Präparates

An jede Lichtleitung anzuschließen  
Jede Kohle der Bogenlampe für sich regulierbar  
Durch zwei kraxial angeordnete Triebknöpfe  
hervorragende Betriebssicherheit

**Niedriger Preis:**

Der Apparat kommt dem Wunsche nach einem  
handlichen und dabei hochleistungsfähigen  
Kohlenbogenlampen-Mikroprojektions-  
gerät entgegen, das, bei denkbar bester tech-  
nischer und mechanischer Ausführung, trotzdem  
im Preis niedrig gehalten ist.

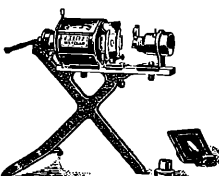
CARL ZEISS  
JENA

Neuer vereinfachter Mikroprojektionsapparat

**Leitz**

12

**Kleiner Mikro-Projektor für Schulen**  
horizontal und vertikal verwendbar

Unentbehrlich  
für den  
UnterrichtDenkbar  
leichteste  
HandhabungAnschluß  
an jede  
LichtleitungJederzeit  
betriebsfertig  
Vergrößerung  
25—150fach  
bei 1—3 m  
AbstandAuch für Film-  
stehbilder  
verwendbar

Größte Helligkeit. Klare und scharfe Bilder. Einfache und übersichtliche  
Anordnung aller Einzelteile. Fordern Sie unsere Liste Nr. 3717.

**ERNST LEITZ WETZLAR**

△ Abb. 8: Kombination von Bildwerfer und Mikroskop zur Mikroprojektion in der Volksschule. — Abb. 9: Mikroprojektionsapparat Mikroyl der Firma Liesegang. — Abb. 10: Projektionsmikroskop Promi der Firma W. H. Seibert, Wetzlar.

Okularspiegel waagrecht ausgestrahlt. Man erhält dann auf einem etwa 2 m vom Apparat aufgestellten Schirm einen gleichmäßig beleuchteten Bildkreis, der bei nicht zu starken Vergrößerungen eine vorzügliche Helligkeit besitzt.

Begeisterung kann Berge versetzen und auch in Zeiten materieller Knappheit Die Mikroprojektion im Naturgeschichtsunterricht der Volksschule ermöglichen. Das in Abbildung 8 dargestellte Konstrukt (MIKROKOSMOS 18, 1924/25) hat ein Schulmann aus einem Projektor und einem Mikroskop zusammengesetzt. Es erscheint das Bild an der Wand, und bei richtigem Verfahren in solcher Größe und Klarheit, daß jeder überrascht ist [...]. Ein Durchmesser von 1,50 m wird in der Regel völlig genügen. Den Abstand des Projektionstisches zur Wand ergibt ein Versuch.

Wesentlich zierlicher wirkt dagegen der Mikroprojektionsapparat Mikroyl von Liesegang (MIKROKOSMOS 18, 1924/25; Abb. 9), der hinsichtlich Einfachheit, Billigkeit und Wirkung nichts zu wünschen übrig läßt, wenn man von der Projektion im polarisierten Licht Abstand nehmen kann. Im Lichte dieser Neuerung gelten ältere Lösungen als unzureichend.

Abb. 11: Mikroprojektionsapparat von Zeiss-Jena. — Abb. 12: Mikroprojektionsapparat von Leitz-Wetzlar.

Im MIKROKOSMOS 22 (1928/29) resümiert denn auch ein anderer Lehrer: Ein Bildwerfer mit Ansatz erscheint hinsichtlich Lichtausbeute und Wärmeentwicklung vergleichsweise als ungeeignet. Eine Bogenlampe erfordert während des Einsatzes im Unterricht Beaufsichtigung. *Wenig Freude wird man an der Zusammenstellung Bildwerfer-Mikroskop erleben, sofern beides vorhanden ist. Die Einrichtung ist im Aufbau [...] schwerfällig, erfordert zudem bei einigermaßen anspruchsvollem Arbeiten eingehendere Kenntnis des Strahlenganges, so daß nur abgeraten werden kann. Zur Schonung des Mikroskops trägt zudem diese Anordnung nicht bei.* Ein klares Verdikt gegen den Herrn Kollegen (vgl. zu Abb. 8).

Als ideale Lösung werden Mikroprojektoren vom Typ Mikrolit/Liesegang angesehen. *Leitz und Seibert haben in rascher Folge Abkömmlinge davon auf den Markt gebracht. Der für unsere Zwecke geeignetste Apparat kann nicht genug gelobt werden.* Abbildung 10 stellt Seiberts Promi dar (MIKROKOSMOS 21, 1927/28): *Hier ist nun die glückliche Konstruktion gelungen, beides [Mikroskop und Mikroprojektor] in einem Gerät zu vereinigen, das unsere Anforderungen an mechanischen Auf-*

*bau, optische Leistungsfähigkeit und unterrichtliche Gebrauchsfähigkeit erfüllt.*

### **Resümee**

Dieser kleine Rückblick mag mit der Vorstellung der Mikroprojektionsapparate von Zeiss-Jena und Leitz-Wetzlar (Abb. 11 und 12, Umschlag-Annoncen aus MIKROKOSMOS 24, 1930/31) enden. *Niedriger Preis: Der Apparat kommt dem Wunsch nach einem handlichen und dabei hochleistungsfähigen Mikroprojektionsgerät entgegen, das, bei denkbar bester optischer und mechanischer Ausführung, trotzdem im Preis niedrig gehalten ist.[...] Auch für Filmstebbilder verwendbar.* Was wollte man damals mehr?!

Damit sind wir zwar noch lange nicht bei Videokamera und Beamer angelangt. Aber die dargelegte Geräteentwicklung hatte bereits meine angejahrte Zeiss-Winkel-Voigtländer-Mixtur eingeholt oder gar überholt. Wie immer man einmal in 100 Jahren über meinen Thespiskarren urteilen mag – er funktioniert prächtig!

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

## **Nachricht**

### **12. Sommerworkshop in der Feldberger Seenlandschaft: 2.–7. September 2007**

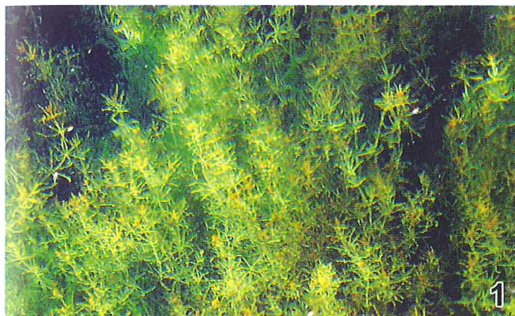
Auch im Jahr 2007 wurde wieder in der wissenschaftlich besonders interessanten Feldberger Seenlandschaft, in der Krüseliner (Amts-)Mühle, der traditionelle Sommerworkshop zur Seenkunde durchgeführt. Das Institut für Chemie der Berliner Humboldt-Universität, Arbeitskreis Prof. Dr. M. Linscheid, war erneut der Ausrichter, der 1995 zusammen mit der Hydrographisch-biologischen Arbeitsgemeinschaft BONITO e.V. ins Leben gerufenen Veranstaltung.

14 Teilnehmer, darunter Geoökologie-, Chemie- und Lebensmittelchemiestudenten, Lehrkräfte der Staatlichen Technikerschule zu Berlin sowie ein mit einschlägigen Untersuchungen an der Müritz beauftragter Tierarzt, bildeten die wissbegierige und aufgeschlossene Hörerschaft. Wie schon in den vorausgegangenen Jahren sorgte man in der Krüseliner Ferienanlage und zugehöriger Gaststätte, der Seeschänke, bestens für das Wohl aller Teilnehmer und Betreuer.

Am Sonntag, den 2.9.2007, war die Anreise. Am Abend stand nach dem Abklären organisatorischer Fragen noch der einführende Vortrag zu den *Grundlagen der Limnologie und Umweltchemie von Binnengewässern* auf dem Programm. Daran schloss sich ein Grillabend zum gegenseitigen Kennenlernen an. Am Montag folgten die Probennahmen (Tiefenprofile) auf dem polytrophen Haussee, dem mesotrophen Schmalen Luzin, sowie dem zwar auch leicht mesotrophen, jedoch immer noch besonders klaren Krüselin. Diese Seenauswahl hatte sich aufgrund der recht unterschiedlichen Wasserqualitäten als besonders günstig für die Unterweisung erwiesen.

Zu allen Untersuchungsmethoden gab es Einführungsvorträge, die über die ganze Woche verteilt stattfanden. In dem Praktikum untersuchten die Teilnehmer selbst genommene Wasserproben aus verschiedenen Tiefen und Sedimentproben der drei Seen mittels Photometrie (Ammonium, Phosphat, Chlorophyll-a), Ionenchromatographie (Chlorid, Bromid,





**Abb. 1: Characeenrasen (Armleuchteralgen) im Krüselin (alle Fotos: Wolfgang W. Richter, Himmelpforten).**

Nitrat, Nitrit, Phosphat und Sulfat), Gaschromatographie (Methan), Inversvoltammetrie (Cd, Cu, Pb) sowie Atomabsorptionsspektrometrie (Ca, Mg). Außerdem wurden der Chemische Sauerstoffbedarf (CSB), der Biologische Sauerstoffbedarf in 5 Tagen (BSB<sub>5</sub>), der pH-Wert, die Leitfähigkeit und der Schwefelwasserstoffgehalt verschiedener Wasserproben bestimmt. Bei den Vorortuntersuchungen auf dem See wurden auch die Sauerstoff- und Temperaturtiefenprofile gemessen und die Sichttiefen bestimmt.

Und die BONITO's waren natürlich wieder bei der Probenentnahme dabei, gaben praktische Unterweisungen und hielten einen Lichtbildervortrag. Der zeigte den Anwesenden, dass man auch mit relativ einfachen Mitteln und Verfahren Untersuchungen von Standgewässern ausführen kann, insbesondere die aussagefähigen Langzeituntersuchungen.

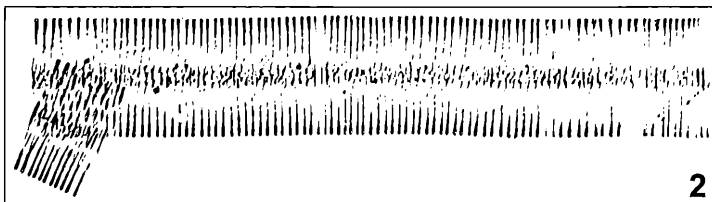
Am Donnerstag brachte Herr Prof. Dr. R. Koschel vom Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Stechlin, den Zuhörern die Themen Eutrophie der Binnengewässer und Seensanierung und -restaurierung nahe. Der letzte Tag war wieder speziell der Makrophytenkunde (Abb. 1) und dem Planktonfang (Abb. 2) gewidmet. Nach der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie sind die biologisch-ökologischen Untersuchungen ein wesentlicher Bestandteil für die Bestimmung der Gewässergüte. Herr Dr. L. Täuscher vom Institut für angewandte Gewässerökologie, Seddiner See, erklärte anhand der in den Gewässern eingesammelten Wasserpflanzen deren Anspruch an die Gewässergüte der Seen.

Der in diesem Jahr erneut erweiterte Park an Kurs- und Schülermikroskopen des Instituts für Chemie der Humboldt-Universität gestattete diesmal allen Teil-



**Abb. 3: Teilnehmer des Sommerworkshops beim Mikroskopieren.**

nehmern gleichzeitig sich ein Bild von den Planktonproben zu machen (Abb. 3). Erste Hinweise zum Umgang mit einem Mikroskop wurden dankbar entgegen genommen. Die beobachteten Planktonstrukturen weckten das Interesse zum Mikroskopieren. Selbst das Leben im Wassertropfen zu beobachten, ist doch interessanter, als nur vorgesetzte Bilder zu betrachten. Einfache Mikrofotografie, ausgeführt mit einer digitalen Kamera, aber auch mit dem einfachen Bresser-Mikrookular mit Aufzeichnung der Bilder auf einem Laptop, diente der Dokumentation. Vielleicht sollte 2008 zum 13. Sommerworkshop, für den im September bereits wieder zwei Lehrgänge geplant sind, noch etwas mehr Zeit für diesen biologisch-ökologischen Lehrgangsteil eingeräumt werden. Angemerkt werden sollte aber doch, dass die Lehrgangswoche keineswegs nur aus Arbeit bestand. Vom Wetter nicht besonders gut bedacht, führte Herr Rusnak vom Naturpark Feldberger Seenlandschaft die Teilnehmer durch diese besterhaltene, herrliche Endmoränenlandschaft, und zwischenzeitliches Tischtennis schien ein Steckpferd vieler Teilnehmer zu sein. Nach einer knappen Woche endete die Veranstaltung mit der Diskussion der in der Woche gewonnenen Ergebnisse. Diese Ergebnisse werden zu einer kleinen Broschüre zusammengefasst, die in Papierform oder als PDF-Datei auf unserer Homepage (<http://www.bonito-feldberg.de>) allen Interessenten zur Verfügung stehen wird.



**Abb. 2: Kolonie der Diatomee *Fragilaria crotonensis*.**

**Verfasser:** Dipl.-Biol. Wolfgang M. Richter, BONITO e.V, Drosselgang 2, 21709 Himmelpforten (Nd.-Elbe), E-Mail: [bonitorichter@web.de](mailto:bonitorichter@web.de), und Dr. Georg Kubsch, Institut für Chemie, Humboldt-Universität Berlin, Brook-Taylor-Str. 2, 12489 Berlin, E-Mail: [georg.kubsch@chemie.hu-berlin.de](mailto:georg.kubsch@chemie.hu-berlin.de)

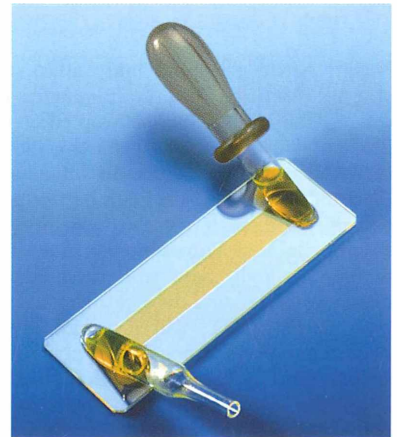
## Aus der Industrie

### Neuartiger Pipettier-Objektträger der Glaswarenfabrik Karl Hecht KG

Der Pipettier-Objektträger Nr. 2427 der Karl Hecht KG (Abb. 1) vereint die Funktion einer Pipette mit einem mikroskopischen Objektträger. 1 ml Probenlösung kann eingesaugt und über eine Beobachtungsfeldgröße von  $40 \times 8 \times 0,25$  mm mikroskopiert werden. Die Handhabung ist wie folgt. Mit gedrücktem Pipettensauger taucht man in die Flüssigkeit mit den zu untersuchenden Partikeln. Durch Entlastung des Saugers erfolgt die Befüllung des Beobachtungsfeldes, worin sich die Probe in geeigneter Tiefenschärfe für Untersuchungen im Lichtstrahlengang handelsüblicher Lichtmikroskope befindet. Eintauchen der Pipettenspitze in Reinigungslösung, während man mit dem Sauger pumpt, ermöglicht eine schnelle Reinigung und sofortige Wiederverwendung für Serienuntersuchungen, zum Beispiel in der Hydrobiologie für Plankton oder die mikroskopische Kontrolle der Belebtschlammflocken von Kläranlagen.

Das Deckglas der Normstärke 1 in korrekter Planlage ermöglicht mikroskopische Kontrastierverfahren wie Hellfeld, Dunkelfeld, Durchlicht-Polarisation, Fluoreszenz, Phasenkontrast und Interferenzkontrast. Während der Mikroskopie kann man die Flüssigkeit im Beobachtungsfeld durch leichtes Pumpen am Pipettensauger bewegen. Dadurch können durch Drehbewegungen der Partikel deren räumliche Strukturen beobachtet werden. Da keine Austrocknung des Präparates erfolgt, kann man biologische Vorgänge über längere Zeiträume studieren.

Chemische oder physikalische Versuche sind weitere Anwendungsmöglichkeiten (z.B. Kristallwachstum oder die Ausfällung von Metallsalzen). Hierbei können die Reaktionen der mit der Pipettierfunktion zusammengeführten Substanzen beobachtet werden.



**Abb. 1:**  
Pipettier-  
Objektträger  
Nr. 2427  
der Karl  
Hecht KG.

Weitere Informationen:

Glaswarenfabrik Karl Hecht KG, 97647 Sondheim,  
Tel.: 097 79/80 80, E-Mail: [info@hecht-assistent.de](mailto:info@hecht-assistent.de),  
<http://www.hecht-assistent.de>

## ANZEIGE



**In Deutschland leiden mehr als 30.000 Jugendliche an einer rheumatischen Erkrankung. Rheuma ist kein Wehwehchen, sondern eine schwere chronische Krankheit.**

Mehr Infos unter [www.Rheuma-Liga.de](http://www.Rheuma-Liga.de)

Deutsche RHEUMA-LIGA  
Bundesverband e.V.



# Einsatz astronomischer Filter in Mikroskopie und Mikrofotografie

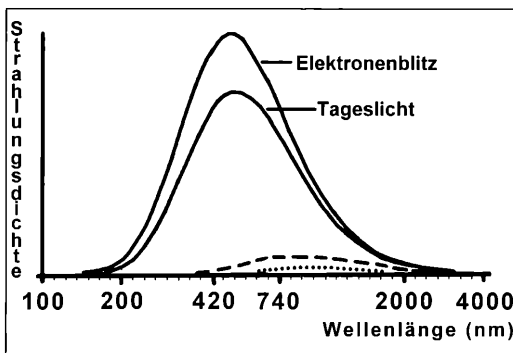
Jörg Piper

In Mikroskopie und Astronomie werden die erhältlichen Bildqualitäten von mehreren Parametern beeinflusst. Entscheidend ist die Güte der verwendeten Optik; vorhandene Abbildungsrestfehler wirken sich in der Regel umso nachhaltiger aus, je höher die eingesetzte Vergrößerung liegt. Eine ideale, das heißt vollständig restfehlerfrei arbeitende Optik, gibt es aus technisch-physikalischen Gründen nicht. Auch bei sehr aufwändig gerechneten optischen Systemen verbleiben daher in gewissem Ausmaß systembedingte optische Abbildungsrestfehler.

Das resultierende Bildergebnis wird auch von den Eigenschaften der jeweiligen Lichtquelle beeinflusst. Glühlampen, Halogenlampen, verschiedene Speziallampen, Tageslicht und Blitzlicht sind durch unterschiedliche Strahlungsintensitäten und Spektralkurven charakterisiert (Abb. 1). In ähnlicher Weise unterscheiden sich astronomisch beobachtbare Himmelskörper in ihren Spektralbereichen. Zusätzlich haben Astronomen im Unterschied zu Mikroskopikern mit Störeffekten durch terrestrische Streustrahlung (Lichtverschmutzung) zu kämpfen. Beeinträchtigungen der Bildqualität können schließlich auch aus Anteilen des nicht sichtbaren Spektrums resultieren (Infrarot- und UV-

Strahlen). Diese können durch Interferenz mit den sichtbaren Anteilen farbige Randsäume und Konturunschärfen hervorrufen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Wellenlängenbereiche und typischen Leitwellenlängen der primären und sekundären Spektralfarben.

In der analogen Fotografie ist zu berücksichtigen, dass verschiedene Filmmaterialien unterschiedlich auf bestimmte Spektralbereiche abgestimmt sein können. Hinsichtlich Digitalfotografie ist relevant, dass Bildschärfe und Farbgebung durch Infrarot- und UV-Licht beeinträchtigt werden können. Die Effektivität kameraseitiger Absorptionsfilter variiert je nach Fabrikat. Die drei Grundfarben (Rot, Grün, Blau) sind in handelsüblichen Digital-



**Abb. 1:** Spektralkurven und Strahlungsdichten typischer mikroskopischer Lichtquellen (modifiziert nach Puchner). Punktiert: Glühlampe (2600 K), gestrichelt: Halogenlampe (3400 K), durchgezogen: Tageslicht (5600 K) und Blitzlicht (5900 K).

**Tabelle 1:** Wellenlängenbereiche und Leitwellenlängen der primären und sekundären Spektralfarben (Achenlohe, 2006; Puchner, 2006; Sommers et al., 2006).

Farbe	Wellenlängenbereich [nm]	Leitwellenlängen [nm]
Ultraviolett (UV)	<380	
Violett	380–420	400
Blau	420–490	440
Magenta	450–480	465
Cyan	490–520	510
Grün	490–575	540, 546
Gelb	575–585	580
Orange	585–650	590
Rot	650–750 (780)	700
Infrarot (IR)	> 750 (780)	



chips unterschiedlich repräsentiert. 50 Prozent aller vorhandenen Pixel codieren ausschließlich Grünlicht und jeweils 25 Prozent Rot- und Blaulicht. Dies kann sich je nach Farbcharakteristik von Objekt- und Lichtquelle limitierend auf die Qualität digitaler Bilder auswirken.

Im Bereich der Astronomie wurde eine Vielzahl unterschiedlich wirkender Filter entwickelt, um bei Himmelsbeobachtungen störende Spektralanteile und farbige Randsäume zu eliminieren und möglichst selektiv bildwirksame Spektralanteile passieren zu lassen. Je nach Beobachtungssituation können durch die Verwendung solcher Filter in der Astronomie bei Einsatz identischer Optik drastische Bildverbesserungen resultieren, die sich auch in der Güte realisierbarer Fotodokumentationen niederschlagen (Dobbins, 2004; Weisheit, 2003).

Im vorliegenden Beitrag soll daher untersucht werden, in wieweit der Einsatz solcher astronomischer Filter auch im Bereich der Mikroskopie und Mikrofotografie qualitative Verbesserungen bringt.

### **Mikroskop und Kamera**

Anhand eines Labormikroskops (Leitz Dialux), welches mit planachromatischen und planapochromatischen Objektiven ausgestattet ist, wurden verschiedene astronomische Filter hinsichtlich ihrer Eignung für visuelle Beobachtungen und digitale Mikrofotografie getestet. Die digitalen Aufnahmen wurden mit einer Olym-

pus Camedia C 7070 hergestellt (7,1 Megapixel CCD-Chip). Testaufnahmen wurden sowohl bei konventioneller Glühlampenbeleuchtung als auch unter Verwendung eines systemkonformen Elektronenblitzes angefertigt.

### **Verwendete Filter**

Eingesetzt wurden verschiedene Interferenz-Filter aus dem Sortiment der Firma Baader Planetarium, welche jeweils seitens astronomischer Anwender in Praxistests gute Bewertungen erhalten hatten. Diese Filter sind sämtlich feinoptisch poliert und zur Gewährleistung einer optimalen Planität spannungsfrei in ihrer Fassung gelagert. Sämtliche Filter sind in den beiden Standardgrößen 1 1/4 und 2 Zoll erhältlich; die Filterfassung der 1 1/4-Zoll-Versionen lässt sich bei einem Außendurchmesser von circa 3 cm sehr gut in die Standard-Filteraufnahme der Lichtaustrittsöffnung eines Mikroskopstativs einlegen. Grundsätzlich können diese Filter gemäß eingeholter Erkundigung auf Kundenwunsch auch in abweichenden Sondermaßen gefertigt werden.

Im Einzelnen wurden fünf Filter getestet, deren charakteristische Eigenschaften aus Tabelle 2 hervorgehen.

### **Baader UV/IR-Cut-Filter**

Dieser Filter besitzt eine etwa 98%ige Transmission für das gesamte sichtbare Spektrum (ungefährer Wellenlängenbereich 380–700 nm).

**Tabelle 2: Charakteristika der getesteten Filter beziehungsweise Filterkombinationen (nach Baader, 2006).**

Filter	Transmissionsmaxima	
UV-IR-Cut (UV-IR)	kurzwelliges Blau bis mittleres Rot	(410–690 nm)
Fringe Killer	langwelliges Blau bis kurzwelliges Rot	(480–680 nm)
Kontrast-Booster(KB)	mittleres Blau bis kurzwelliges Grün mittleres Grün Orange bis Rot	(460–510 nm) (540–570 nm) (600–730 nm)
KB + UV-IR	langwelliges Blau bis kurzwelliges Grün langwelliges Grün bis Gelb Orange bis kurzwelliges Rot	(480–510 nm) (560–580 nm) (610–690 nm)
Semi APO	kurzwelliges Blau bis kurzwelliges Grün mittleres Grün Orange bis kurzwelliges Rot	(420–510 nm) (540–570 nm) (610–680 nm)
Solar Continuum	monochromatisches Grün	(538–541 nm)

UV-Licht bis etwa 380 nm und Infrarotlicht bis zu etwa 1300 nm werden jeweils effektiv gesperrt (Abb. 2). Beeinträchtigungen der Bildqualität durch Strahlenanteile außerhalb des sichtbaren Spektrums werden durch diesen Filter unterbunden. Da es sich nicht um einen Absorptionsfilter, sondern um einen Interferenzfilter handelt, erwärmt sich dieser Filter auch bei Auftreffen energiereicher Infrarotstrahlung nicht. Er kann daher bei Wärme produzierenden Lichtquellen als Wärmeschutzfilter eingesetzt werden und bei Verwendung sehr heller Lichtquellen als Augenschutzfilter.

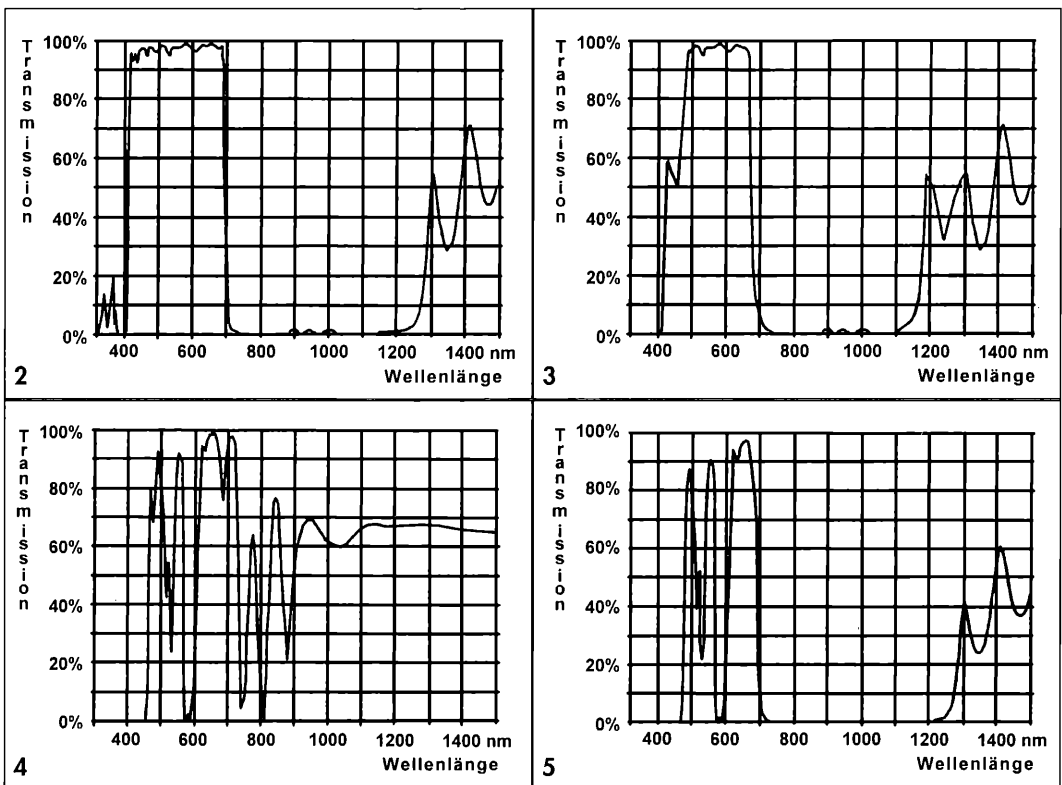
### **Baader Fringe-Killer-Filter**

Dieser Filter blockiert ebenso wie der vorerwähnte Infrarot-Sperrfilter Infrarot-Spektren bis zu etwa 1200 nm. Neben einer kompletten UV-Absorption werden durch diesen Filter

allerdings auch kurzwellige Blaulicht-Anteile absorbiert. Das Transmission-Maximum erstreckt sich über einen Bereich von etwa 470 bis 680 nm (Abb. 3). Der Fringe-Killer-Filter dient zur Unterdrückung unerwünschter Farbsäume sowohl im blauen Spektralbereich als auch im Infrarot oberhalb etwa 700 nm. Farb-Restfehler durch chromatische Aberrationen können durch die Beseitigung farbiger Randsäume abgeschwächt werden.

### **Baader Contrast-Booster-Filter**

Dieser Filter wirkt als RGB-Verstärker, indem er für die drei Grundfarben Rot, Grün und Blau jeweils Transmissionsmaxima um etwa 95% zeigt. Eine verringerte Transmission befindet sich im Spektralbereich von Cyan und Gelb. Hieraus resultiert im Hinblick auf die drei Grundfarben eine verbesserte Trennschärfe



**Abb. 2:** Transmissionskurve des Baader UV/IR-Cut-Filters (modifiziert nach Baader). – **Abb. 3:** Transmissionskurve des Baader Fringe-Killer-Filters (modifiziert nach Baader). – **Abb. 4:** Transmissionskurve des Baader Contrast-Booster-Filters (modifiziert nach Baader). – **Abb. 5:** Transmissionskurve der Baader Contrast-Booster- und UV/IR-Cut-Filter bei kombinierter Verwendung (modifiziert nach Baader).

und Farbreinheit. Violett wird geblockt, Infrarotlicht kann jedoch bei einer Transmission von 60–70% passieren (Abb. 4).

Die RGB-Filterung kann verstärkt werden, wenn der Contrast-Booster mit dem bereits erwähnten UV-Infrarot-Sperrfilter kombiniert wird. In diesem Fall besteht eine anwendungstechnisch relevante Transmission lediglich im Bereich von 480–700 nm bei weitgehender Selektivität für die erwähnten drei Grundfarben (Abb. 5).

### Baader Semi-APO-Filter

Dieser Filter ähnelt hinsichtlich seiner Spektralkurve dem Contrast-Booster, allerdings lässt der Semi-APO-Filter auch kurzwelligeres Blaulicht bis etwa 420 nm passieren (Abb. 6). Je nach Farbtemperatur der verwendeten Lichtquelle, Farbgebung des Objektes und subjektiven Vorlieben können daher der Contrast-Booster oder Semi-APO-Filter im Einzelfall zu ansprechenderen Ergebnissen führen.

Kontrast und Farbreinheit können gegebenenfalls weitergehend gesteigert werden, wenn der Semi-APO-Filter in Kombination mit dem Contrast-Booster verwendet wird.

### Baader Solar-Continuum-Filter

Bei diesem Filter handelt sich um einen monochromatischen Grünfilter im Wellenlängen-Kennbereich von 540 nm. Die Spektralkurve lässt erkennen, dass dieser Filter bei einer Halbwertsbreite von etwa 10 nm ein Transmissionsmaximum bei etwa 538 nm besitzt (Abb. 7). Bei hellen Lichtquellen wird eine Kombination dieses Filters mit einem Infrarot-Sperrfilter zum Augenschutz dringend empfohlen.

## Ergebnisse

Aus dem vorhandenen reichhaltigen astronomischen Filtersortiment sind für mikroskopische Zwecke speziell drei Arten von Filtern interessant:

### 1. Sperrfilter (getestet: UV/IR-Cut-Filter und Fringe-Killer-Filter)

Diese Filter blockieren den UV- und Infrarot-Bereich, gegebenenfalls auch UV- und Infrarotnahe Anteile des sichtbaren Spektrums. Potentielle Bildunschärfen und farbige Randsäume durch sekundäre Spektren außerhalb des sichtbaren Bereiches und Abbildungs-Restfehler aufgrund chromatischer Aberration können verringert werden. Zusätzlich dienen diese Filter dem Augenschutz bei Verwendung heller Lichtquellen mit relevantem UV- beziehungsweise Infrarot-Anteil.

Der getestete UV/IR-Cut-Filter ist völlig farbneutral. Der Fringe-Killer-Filter tendiert zu einer leichten Grün-Dominanz, da Blaulichtanteile in höherem Maße herausgefiltert werden. Dieser leichte Grünstich kann in der Schwarz-Weiß-Mikrofotografie vorteilhaft sein, wirkt sich in der Farbfotografie und auch bei der visuellen Beobachtung jedoch eher störend aus.

Nach eigener Erfahrung führen diese Sperrfilter bei qualitativ hochwertiger mikroskopischer Optik zu keinen relevanten sichtbaren Bildverbesserungen, da durch die Vergütung der optischen Elemente und durch zusätzlich vorhandene kameraseitige Sperrfilter offenbar bereits eine hinreichende Absorption potentiell störender Frequenzen gewährleistet ist. Wenn allerdings mit einfacherer und preisweiterer Optik gearbeitet wird, besteht im Einzelfall sicherlich

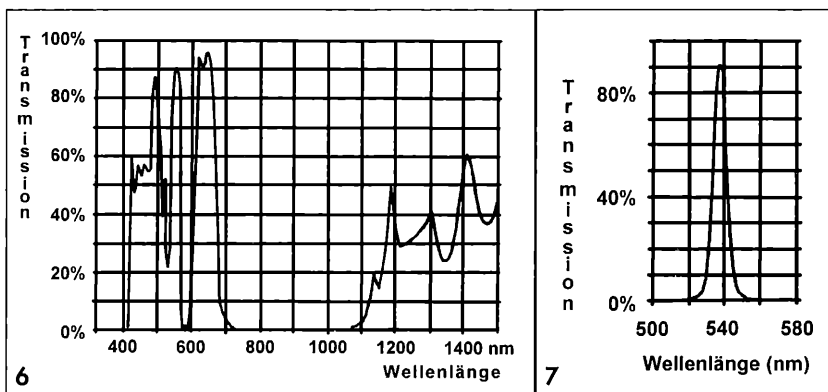


Abb. 6: Transmissionskurve des Baader Semi-APO-Filters (modifiziert nach Baader). – Abb. 7: Transmissionskurve des Baader Solar-Continuum-Filters (modifiziert nach Baader).



die Chance, mittels dieser Filter qualitative Verbesserungen zu erzielen. Unabhängig von Aspekten der Bildverbesserung lassen sich diese Sperrfilter effektiv als Wärmeschutz- und Augenschutz-Filter verwenden.

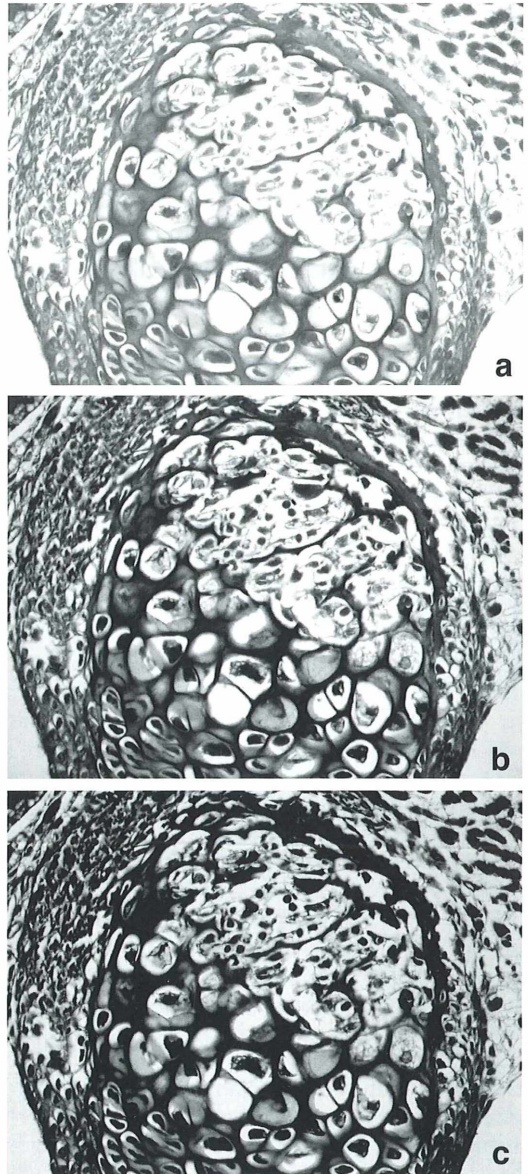
## **2. RGB-Verstärker (Contrast-Booster- und Semi-APO-Filter)**

Diese Filter besitzen selektive Transmissionsmaxima für die drei Grundfarben Rot, Grün und Blau. In Abhängigkeit von der Farbgebung des Objektes und der Farbcharakteristik der eingesetzten Lichtquelle kann eine deutliche Steigerung von Farbsättigung beziehungsweise Farbtintensität und Farbreinheit erreicht werden. Hieraus resultiert eine Anhebung des Farbkontrastes und Hell-Dunkel-Kontrastes. Die allgemeine Kontraststeigerung ist trotz Erhalt der natürlichen Farben mit der erreichbaren Kontrastanhebung bei Grünlicht-Beleuchtung vergleichbar.

In der visuellen Beobachtung führt der Contrast-Booster zu einer minimalen Farbverschiebung in Richtung Grünlicht, da Violett und kurzwelliges Blaulicht herausgefiltert werden. Der Semi-APO-Filter zeigt eine höhere Farbneutralität, da dieser auch kurzwelliges Blaulicht passieren lässt. Beide Filter führen bei visueller Beobachtung in den meisten Situationen zu einer sichtbaren Verbesserung der Bildqualität. Auch gering gefärbte filamentöse Strukturen treten kontrastreicher hervor. In der digitalen Mikrofotografie bewirken beide Filter bei Glühlampenbeleuchtung eine vermehrte Dominanz roter Farbtöne, da Violett und angrenzende kurzwellige Blaulichtanteile geblockt werden.

In der Blitzlicht-Fotografie kompensiert vor allem der Contrast-Booster sehr eindrucksvoll den typischen Blaustich des Blitzlichtes und verringert Überstrahlungs-Effekte, welche bei Blitzlichtbeleuchtung auftreten können. Auch wird die Exaktheit der TTL-gesteuerten Blitzbelichtungsautomatik bei Verwendung des Contrast-Boosters tendenziell verbessert.

Der Semi-APO-Filter hat nach Maßgabe der durchgeführten eigenen Testungen als Hauptdomäne die visuelle Beobachtung, da er bei weitgehender Farbneutralität die Güte des visuell beobachtbaren Bildes im Hinblick auf die Qualität der Farbwiedergabe sichtbar verbessert. In der Blitzlicht-Fotografie kann er vorzugsweise in Kombination mit dem Contrast-Booster ein-



**Abb. 8: Histologischer Schnitt (embryonaler Knorrel), Hellfeld, Objektiv 40x, Okular 10x, Elektronenblitz, TTL-Blitzbelichtungsautomatik, Verschlusszeit 1/2000 s, identische Geräteeinstellungen. a Ohne Filter, b mit Baader Contrast-Booster-Filter (RGB-Filter), c mit Baader Solar-Continuum-Filter (monochromatischer Grünfilter 540 nm).**

gesetzt werden. Die Kombination beider Filter führt je nach Farbcharakteristik des Objektes im Einzelfall zu noch reineren Farben als die alleinige Verwendung des Contrast-Boosters. Sofern bei Glühlampenbeleuchtung Mikrofotografie unter Einsatz eines Blaufilters (Tageslicht-Filter) betrieben wird, können beide RGB-Filter in ähnlicher Weise zu einer verbesserten Farbreinheit und gesteigerten Farbkontrasten beitragen, wie in der Blitzlicht-Fotografie.

### 3. Monochromatische Filter

In der Mikroskopie sind monochromatische Grünfilter zur Verbesserung von Kontrast und Bildschärfe bewährt, da mikroskopische Optiken traditionell für die Grünlicht-Beobachtung optimiert sind, chromatische Abbildungsrestfehler ausgeschaltet werden, und das menschliche Auge für Grüntöne eine maximale Sensitivität aufweist. Bei digitaler Fotodokumentation gewährleistet monochromatisches Grünlicht, dass die höchstmögliche Anzahl vorhandener Pixel auf direktem Wege belichtet wird, so dass der Anteil interpolierter Bildpunkte möglichst gering bleibt.

Der getestete Sonnenbeobachtungsfilter Solar-Continuum lässt sich als monochromatischer Grünfilter mit hervorragenden Ergebnissen einsetzen, sowohl bei visuellen Beobachtungen als auch in der Mikrofotografie. Bei Verwendung dieses Filters resultieren maximierte Kontraste bei optimaler Konturschärfe. Auch in der Schwarz-Weiß-Fotografie lassen sich durch den getesteten monochromatischen Grünfilter sichtbare Verbesserungen der Bildschärfe und Kontrastierung realisieren.

Die getesteten Filter können bei mikroskopischer Anwendung entweder in die Filteraufnahme des Beleuchtungsapparates eingebracht oder in Analogie zur astronomischen Anwendung der Augenlinse des Okulars vorgelegt werden. Wenngleich bei beiden Varianten unterschiedliche Anteile des Strahlenganges gefiltert werden (beleuchtende oder abbildende Strahlen), ergibt sich bei vergleichender Testung kein sichtbarer Unterschied. Vorzugsweise kann daher der beleuchtende Strahlengang gefiltert werden, da dies einfacher zu handhaben ist und eine potentiell nachteilige Beeinflussung des abbildenden Strahlenganges durch Einfügen einer mehrfach beschichteten planparallelen Platte vermieden wird.

Abbildung 8 zeigt eine exemplarisch erreichbare Kontraststeigerung mittels Baader Contrast-Booster- und Solar-Continuum-Filter.

### Schlussfolgerung und Zusammenfassung

Die getesteten astronomischen Farbfiler stellen auch für mikroskopische Anwendungen eine Bereicherung dar. Bei überschaubarem finanziellen Aufwand (Preise pro Filter im zweistelligen Eurobereich) kann die erhältliche Bildqualität in vielen Fällen sichtbar gesteigert werden. Der getestete Semi-APO-Filter gibt jedem Achromaten ein „apochromatisches Flair“ und führt sogar zu einer weiteren Optimierung von Kontrast und Farbgebung, wenn apochromatische Optiken zur Verfügung stehen. Der Contrast-Booster verbessert vor allem jede mikroskopische Blitzlichtaufnahme, wobei sich die Farbreinheit gegebenenfalls noch steigern lässt, wenn dieser Filter in der Blitzlichtfotografie mit dem Semi-APO-Filter kombiniert wird.

Sofern bei Glühlampenbeleuchtung mit einem Tageslicht-Blaufilter fotografiert wird, können die getesteten RGB-Filter zu vergleichbaren Verbesserungen des fotografischen Ergebnisses beitragen. Die getesteten Sperrfilter wirken sich im Unterschied zur Astronomie bei mikroskopischer Anwendung nicht relevant auf die Bildqualität aus, zumindest bei qualitativ hochwertiger Optik. Sie sind allerdings als Wärmeschutz- und Augenschutz-Filter einsetzbar. Astronomische monochromatische Grünfilter zur Sonnenbeobachtung lassen sich ebenso wie herkömmliche mikroskopische monochromatische Filter mit exzellenten Resultaten verwenden. Bei sehr hohen Intensitäten des Beleuchtungslichtes sollten diese Filter allerdings aus Gründen des Wärme- und Augenschutzes mit einem UV-/Infrarot-Sperrfilter kombiniert werden.

### Literaturhinweise

- Achenlohe, A.: Farbe und Licht, Farbmatrik (2006). <http://www.actoid.com/webdesign/farblightsehen/Farbmatrik.htm>
- Baader, T.: Baader-Planetarium, Farbfiler (2006). [http://www.baader-planetarium.de/zubehoer/okulareseitiges\\_zubeh/farbfiler.htm](http://www.baader-planetarium.de/zubehoer/okulareseitiges_zubeh/farbfiler.htm)
- Dobbins, A.: Was tun gegen den „Refraktor-Blues“? *Astronomie Heute* 9 (2004). [http://www.baader-planetarium.de/suw\\_artikel/download/filtertest\\_a\\_hoi.pdf](http://www.baader-planetarium.de/suw_artikel/download/filtertest_a_hoi.pdf)

Puchner, R.: Licht und Farben, Licht als elektromagnetische Welle (2006). <http://www.puchner.org/Fotografie/technik/physik/licht.htm>

Sommers, H.-J., Motzko, M., Oberhage, R.: Licht und Farben (2006). <http://www.theo-phys.uni-es-sen.de/tp/onlinehelp/Colors/index.html>

Weisheit, B.: Perfektion für 100 Euro Aufpreis – Farbkorrekturfilter für kurzbrennweite Fraun-

hofer-Refraktoren im Vergleich. Sterne und Welt-  
raum 8, 78–83 (2003). [http://www.baader-planetarium.de/suw\\_artikel/download/contrast\\_booster.pdf](http://www.baader-planetarium.de/suw_artikel/download/contrast_booster.pdf)

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

## Aus der Industrie

### Neues MultiColor-TIRF von Leica Microsystems für flexible, dynamische Lebendzellstudien

Mit dem neuen MultiColor-TIRF (Total Internal Reflection Fluorescence; Abb. 1) von Leica Microsystems kann jetzt das gesamte Spektrum der Fluoreszenzanregung genutzt werden, um dynamische Prozesse in lebenden Zellen in Echtzeit zu visualisieren. Die einzigartige Scanner-Sensor-Technologie passt den TIRF-Winkel bei allen Wellenlängen automatisch an die gewünschte Eindringtiefe an und positioniert den Laser auch beim Wellenlängenwechsel so, dass die TIRF-Eindringtiefe konstant bleibt. Dies schafft einen einzigartigen Bedienkomfort und stellt reproduzierbare wissenschaftliche Experimente sicher.

Das Leica AM TIRF MC bietet vier integrierte Solid-State-Laser für die Anregung von Fluoreszenzfarbstoffen (Fluorophore) in allen wichtigen Wellenlängen von 405 bis 632 nm. Dabei zeichnet sich das System durch extrem kurze Umschaltzeiten und die sehr hohe und synchronisierte Bildaufnahme rate aus. Für Anwender bedeutet dies größtmögliche Flexibilität bei Experimenten mit mehreren Farbstoffen. Insbesondere zur Erforschung von molekularen Interaktionen an Zellmembranen sowie von Proteinen und Rezeptoren, die an Transportmechanismen beteiligt sind, ist das System ein ideales Werkzeug. Das neue Leica AM TIRF MC eignet sich sowohl für die Untersuchung einzelner Moleküle nahe der Zellmembran als auch für Kollokalisations- und Vesikeltransportstudien.

Für MultiColor-Anwendungen stehen dem Anwender die Wellenlängen 405, 488, 561 und 632 nm zur Verfügung. Die einzelnen Laserlinien werden präzise und schnell über AOTF (Acousto-Optical Tunable Filters) gekoppelt und gesteuert. Dadurch wird eine Umschaltzeit von nur 1 ms erreicht.

Ein neu entwickeltes SyncBoard steuert die schnelle Bildaufnahme von bis zu 30 fps (frames per second).

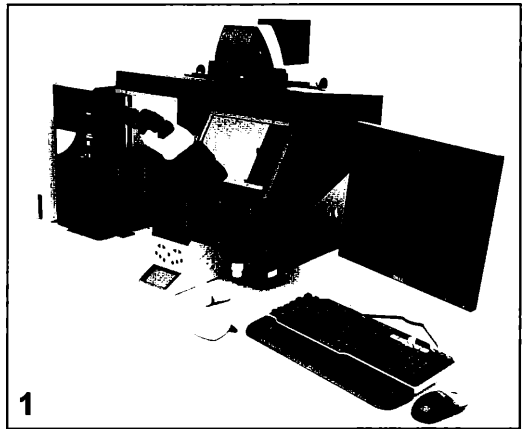


Abb. 1: Das neue MultiColor-TIRF Mikroskop von Leica.

Diese hohe zeitliche Auflösung zur Anregung mehrerer Fluorophore, kombiniert mit der hohen räumlichen TIRF-Auflösung von 70–300 nm in der z-Achse, sind entscheidende Voraussetzungen für die Visualisierung von Transportprozessen in Zellmembranen oder von Proteinwechselwirkungen in Echtzeit. Selbst Interaktionen einzelner Moleküle, die Kinetik oder die Kollokalisation von Molekülen können mit dem hoch sensitiven TIRF-System visualisiert und gemessen werden. Die konstante Eindringtiefe beim Umschalten der Laserlinien ist dabei eine wesentliche Voraussetzung für den Einsatz mehrerer Fluorophore. Durch das sehr gute Signal-Rausch-Verhältnis kann der gesamte dynamische Bereich der hochempfindlichen EMCCD Kamera genutzt werden. Selbst bei schwachen Fluoreszenzsignalen erzeugt die Hochleistungskamera Bilder in höchster Qualität.



## Buchbesprechung

**Streble, H., Bäuerle, A.: Histologie der Tiere – Ein Farbatlas.** Elsevier, Spektrum Akademischer Verlag, München 2007, X Vorblätter, 182 Seiten, 325 farbige Mikrofotos, € 24,95, ISBN 978-3-8274-1668-1.

Endlich! Endlich ist eine seit jeher klaffende Lücke in der biowissenschaftlich orientierten Literatur geschlossen worden. Dem Histologen Heinz Streble (nicht nur bei Amateurmikroskopikern bestens bekannt für sein einzigartiges Bestimmungsbuch der Kleinlebewelt des Süßwassers, dem Kompendium *Das Leben im Wassertropfen*) und seiner Co-Autorin ist mit dem Farbatlas zur Histologie der Tiere zweifellos ein großer, ja großartiger Wurf gelungen.

Ein Verständnis physiologischer Vorgänge in Einzelzellen, Geweben, Organen und Organsystemen von Tieren setzt die Kenntnis der makro- beziehungsweise mikroskopischen Anatomie zwingend voraus. Während die Morphologie und Histologie von Säugern in der human- und veterinärmedizinischen Literatur bestens dokumentiert ist, liegt die Einmaligkeit des hier vorgelegten Werkes nun genau darin, insbesondere den weiteren Wirbeltiergruppen Aufmerksamkeit zu schenken und in ganz besonders gebührendem Umfang histologische Dauerpräparate von Wirbellosen vorzustellen. Buchstäblich allen voran stehen diese, denn das Buch ist systematisch aufgebaut und beginnt bei den ursprünglichsten Lebensformen.

Einem Vorwort der Autoren und einer Einführung zu Sinn und Zweck des Atlanten folgt zunächst eine kurze Darstellung der Paraffin-Methodik und der hauptsächlich verwendeten Färbetechnik. Der anschließende, eigentliche Atlas wird von einem knapp

gehaltenen Literaturverzeichnis und einem Index beschlossen.

Die zumeist polychromatisch gefärbten Bilder sind eine Augenweide. Sie sind fast allesamt gestochen scharf. Nahezu sämtliche Präparate sind völlig einwandfrei (wobei es – um eine Ausnahme zu erwähnen – nicht weiter stört, dass das Messer beim Schneiden durch den Kopfbereich eines Zahnkarpfens wohl eine Scharte gehabt hat) und mit einer ungeheuren Gründlichkeit beschriftet. Alle bedeutenden Stämme des Tierreichs werden nacheinander in Übersichts- und (meistens) Detaildarstellungen von histologischen Schnitten oder, etwa bei kleineren Formen, von Totalpräparaten abgehandelt. Neben der mit Zuweisungsstrichen getroffenen Beschriftung von Einzelstrukturen (nicht weniger als ungeheure 118 bei dem Längsschnitt durch eine Jungmaus) wird jedes Foto von einer ausführlichen Legende zum Präparat selbst (Färbung, Schnittführung usw.) und der abgebildeten Gesamtstruktur begleitet.

Bei einigen wenigen Objekten wäre es der Übersichtlichkeit wegen vielleicht angebracht gewesen, die Beschriftung an einer Umzeichnung vorzunehmen. Auch kann der Nicht-Experte bei manchen Präparaten wenig mit der Angabe zur Schnittführung anfangen, um eine Vorstellung davon zu erlangen, wo sich das abgebildete Gewebe/Organ im Tier befindet. Eine halbschematische Zeichnung des Gesamtorganismus hätte diesem Mangel abgeholfen.

Überhaupt fehlen in dem Buch jedwede Angaben sowohl zur taxonomischen Stellung der jeweiligen Großtaxa (ein simpler Stammbaum hätte genügt) als auch zu deren Habitus, Grobmorphologie, Lebensweise und Physiologie. Ebenso wenig werden evolutionäre Trends, Homologien und Analogien vorgestellt,

was aufgrund der einzigartigen Bilder ein Leichtes gewesen wäre. Das ist kein Mangel, aber es ist schade.

Denn, es handelt sich bei diesem Bilderbuch eben um einen Atlas und nicht um ein Lehrbuch der Zoologie. Letztere waren und sind in verschiedenster Ausführung und Ausführlichkeit zu haben, und es wird in der *Histologie der Tiere* mehrfach ausdrücklich vermerkt, dass hier ein praxisorientierter Leitfaden zur Bearbeitung zoologischer Dauerpräparate vorgestellt wird, und der Band als nützliches Handbuch und Nachschlagewerk in Ergänzung zu den gängigen Lehrbüchern anzusehen ist. Nichts weniger, aber auch nichts mehr. Schade ist eben, dass dieser Atlas das Zeug gehabt hätte, zu einem selbstverständlichen Werk, dessen Nutzer ohne ein Lehrbuch beziehungsweise ohne Vorkenntnisse zu den besprochen Tiergruppen auskommt.

Einer kommenden Auflage ist zu wünschen, dass einstweilen ein mit dem Atlas korrespondierendes Lehrbuch seitens des Verlages empfohlen wird und Lehrbuch wie Atlas aufeinander abgestimmt sind.

Studierende wie Dozenten der verschiedensten biologischen Fachrichtungen und natürlich auch Amateurmikroskopiker werden in dem Atlas einen nahezu unerschöpflichen Fundus an strukturorientierten Informationen erhalten, der – es kann nicht oft genug wiederholt werden – nicht nur in dieser Form, sondern überhaupt, einmalig ist.

Man muss als Biologe diesen Atlas haben (erst recht bei diesem Preis)! Hoffentlich erscheinen bald auch Ausgaben in anderen Sprachen, insbesondere in Englisch, damit auch andernorts und in anderer Sprache der systemisch und strukturinteressierte Mikroskopiker aufzufehen kann: Endlich! Ralf H. Anken, Wernau

## ***Dreidimensional und computergestützt – Innovative Bildgebung in der Zahnarztpraxis***

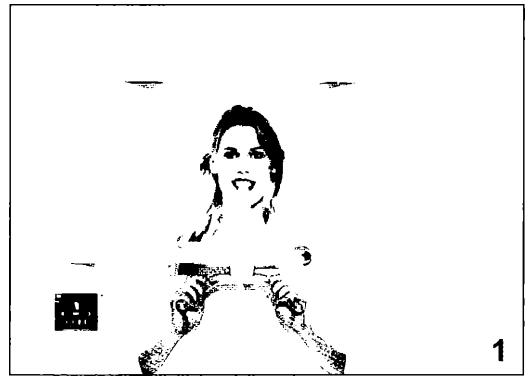
Annett Burzlaff

**Seit einiger Zeit plagen Herrn Müller Schmerzen im Unterkiefer. Sein Zahnarzt diagnostiziert verlagerte Weisheitszähne. Es ist zu wenig Platz vorhanden, die Zähne können nicht durchbrechen und haben deshalb eine schmerzhafte Entzündung verursacht. Der Zahnarzt überweist Herrn Müller an einen Mund-Kiefer-Gesichts-Chirurgen zur Entfernung der Übeläter.**

**D**ie Entfernung von Weisheitszähnen ist eine Routineoperation. Dennoch – so klärt der Mund-Kiefer-Gesichts-Chirurg den Patienten auf – ist Vorsicht geboten. Behandler sollten Weisheitszähne nicht extrahieren, ohne sich ein Bild von ihrer Lage, ihrem Wurzelverlauf und ihrer Nähe zu Nerven oder der Kieferhöhle gemacht zu haben. Viel zu leicht kann es zur Verletzung wichtiger Strukturen kommen.

Herr Müller hat Glück. Der Chirurg hat seine Praxis mit innovativer Technologie ausgerüstet, um operative Eingriffe im Mund- und Kieferbereich so sicher wie möglich zu machen. Ein Röntgengerät der neuesten Generation, ein so genannter digitaler Volumentomograph (DVT), erzeugt eine dreidimensionale Rekonstruktion des gesamten Mund- und Kieferbereiches des Patienten. Mit Hilfe spezieller Software kann der Arzt im dreidimensionalen Volumen des Gesichtsschädels frei navigieren und dabei Zähne und Knochenstrukturen aus allen Perspektiven betrachten. Es ist auch möglich, die Lagebeziehung der Zähne zueinander oder zu Nervenkanälen oder zur Kieferhöhle einwandfrei zu diagnostizieren. Karies, Parodontose oder einzelne Wurzelkanäle sind deutlich sichtbar, zusätzliche Zähne, Knochenabbau oder Fremdkörper (z.B. abgebrochene Instrumente) treten klar hervor.

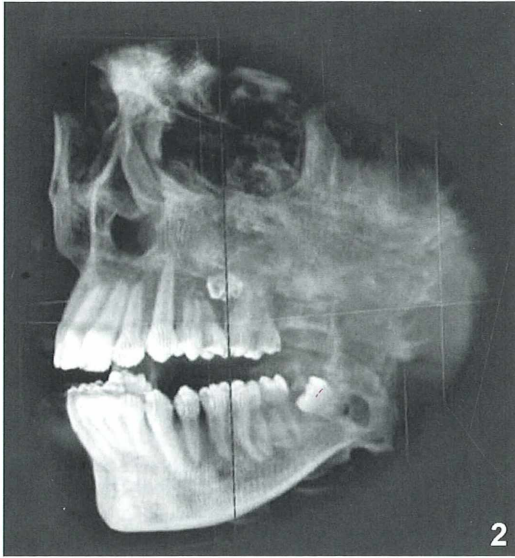
Die Röntgenaufnahme mit GALILEOS, dem digitalen 3D-Röntgensystem von Sirona, erlaubt eine sichere Diagnose und damit eine genaue Planung der bevorstehenden Weisheitszahnextraktion. Die Strahlendosis ist gering und entspricht der natürlichen Röntgenstrahlung, der Passagiere während eines fünfstündi-



**Abb. 1: Der 3D-Scan des gesamten Schädelvolumens dauert nur 14 Sekunden; der Patient kann dabei stehen oder sitzen.**

gen Fluges in 10.000 Meter Höhe ausgesetzt sind. Der Scan des gesamten Schädelvolumens dauert nur 14 Sekunden. Der Patient kann dabei stehen oder sitzen (Abb. 1). Aus den Daten von 200 Einzelaufnahmen errechnet das Röntgensystem innerhalb von sieben Minuten das vollständige Bildvolumen.

Dann erscheint das dreidimensionale Röntgenbild auf dem Bildschirm am Behandlungsplatz (Abb. 2). Es bildet den gesamten Kiefer – vom Nasenbein bis zum Kinn und von einem Kiefergelenk bis zum anderen – dreidimensional ab. Der Behandler kann den rekonstruierten Schädel mit dem Cursor in alle Richtungen drehen und dem Patienten die Anatomie erläutern. Neben dieser dreidimensionalen Rekonstruktion erscheint eine so genannte Panoramaansicht auf dem Bildschirm, die den Kiefer- und Mittelgesichtsbereich zweidimensional darstellt. Sie



**Abb. 2:** Der digitale Volumentomograph GALILEOS bildet genau den Bereich des menschlichen Kopfes ab, der für alle zahnmedizinischen Fragestellungen relevant ist.

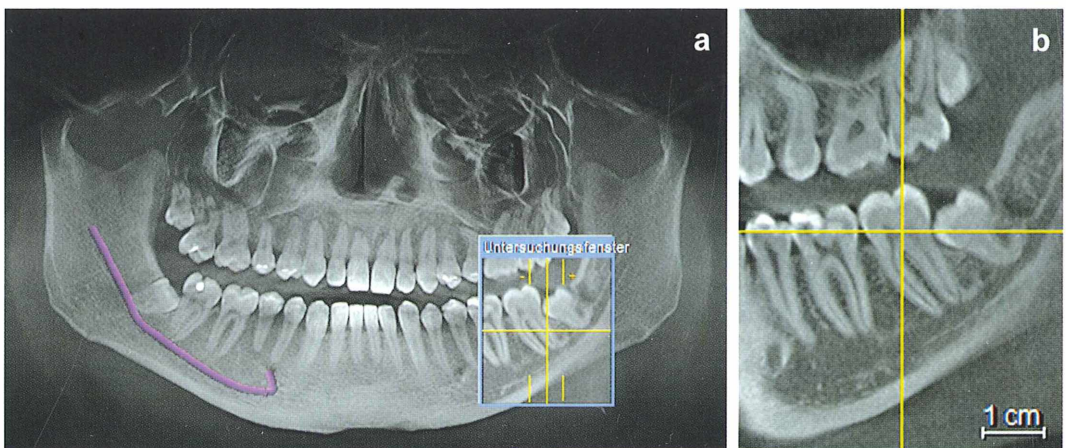
bietet einen guten Überblick über die Kiefer-situation. Mit einem Navigationsfenster bewegt sich der Arzt in der Panoramaansicht. Dadurch erhält er Schnittansichten der verschiedenen Lagen (beispielsweise Längs- und Querschnitte). Die Ansicht der 300 µm dicken Schnitte bildet die anatomischen Strukturen de-

tailreich ab, beispielsweise den Unterkiefer im Tangentialschnitt (Abb. 3a) oder den Kiefer im Querschnitt (Abb. 3b). Die Zähne sind mit Schmelz, Zahnbein (Dentin), Pulpa und Wurzelkanal deutlich erkennbar.

Unterhalb der Zahnwurzeln im Unterkiefer liegt der Mandibularkanal, durch den die Nerven und Blutgefäße laufen. Umwächst eine Zahnwurzel diesen Kanal, so kann dies bei einer Zahnextraktion zu drastischen Folgeerscheinungen führen. Wird der Zahn ausgerissen und die Wurzel durchtrennt oder sie beschädigt den Mandibularkanal, kommt es nicht nur zu meist starken Blutungen. Es ist möglich, dass der Patient dabei jegliche Empfindung im Mundbereich verliert und als Folge dessen den Speichelfluss nicht mehr kontrollieren kann. Derartige Schäden können den Patienten für den Rest seines Lebens entstellen. Nicht selten treffen sich Patient und Arzt in solchen Fällen vor Gericht wieder. Es ist daher ein absolutes Muss, die Operation mit Hilfe der Röntgentechnik genau zu planen, um eine maximale Sicherheit beim Eingriff zu erzielen.

### ***Digitale Volumentomographie – Ein Meilenstein in der Zahnmedizin***

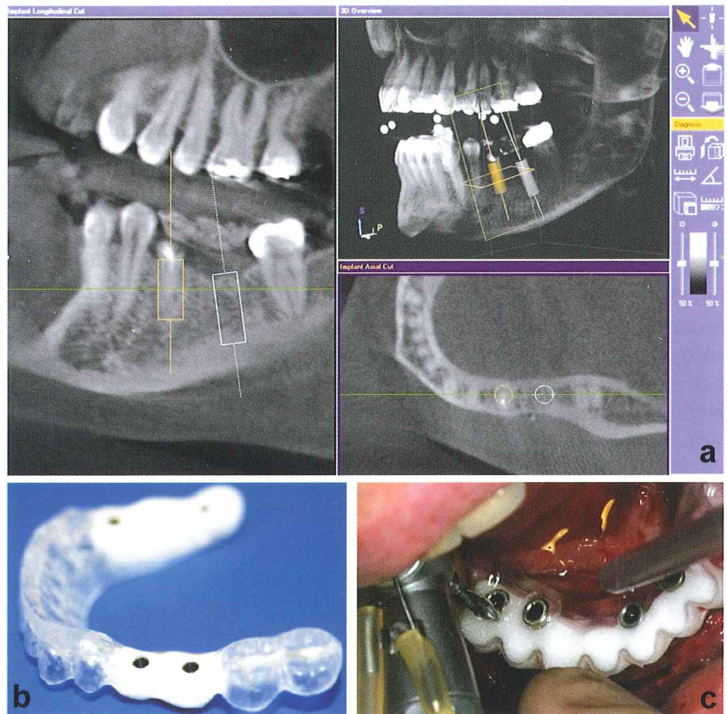
Herkömmlichen zweidimensionalen Röntgenaufnahmen des Schädels fehlt jegliche Tiefeninformation. Um Rückschlüsse auf die Lage



**Abb. 3:** a Mit dem frei beweglichen Untersuchungsfenster kann der Betrachter in der Panoramaansicht schichtweise in die Tiefe fahren. Der Mandibularkanal ist auf der linken Seite lila markiert. b Vergrößerung des Inhalts des Untersuchungsfensters: Die Wurzel des Weisheitszahns unten links liegt in unmittelbarer Nähe zum Mandibularkanal. Die Wurzel zieht sich jedoch oberhalb des Kanals entlang und umwächst ihn nicht.



**Abb. 4:** **a** Mit der Software GALILEOS<sup>Implant</sup> kann der Arzt Implantate virtuell planen. **b** Der Arzt erhält eine fertige Bohrschablone, die exakt den Planungsdaten entspricht. **c** Der Arzt führt nun den Pilotbohrer durch die einzelnen Bohrhülsen der Bohrschablone. Die Hülsen gewährleisten dabei, dass die Bohrungen im richtigen Winkel und somit genau nach Plan verlaufen.



von Strukturen ziehen zu können, sind weitere Röntgenaufnahmen aus anderen Perspektiven notwendig. In schwierigen Fällen war bislang die Computertomographie die Technik der Wahl. Hierfür muss der Zahnarzt den Patienten an den Radiologen überweisen. Im Computertomographen wird der Patient liegend, mit verhältnismäßig hoher Strahlendosis schichtweise gescannt. Dagegen benötigt GALILEOS nur etwa 1/20 der Strahlendosis einer Computertomographie, und kommt vor Ort, in der Zahnarztpraxis, zum Einsatz. Dem Patienten bleiben also der Weg zum Radiologen und eine erhöhte Strahlenbelastung erspart.

### Neue Zähne – Implantate planen in 3D

Dreidimensionale Röntgenbilder sind nicht nur bei der Diagnostik verlagelter Weisheitszähne hilfreich. Gerade bei komplizierten Fällen wie der Zahnimplantation muss der Arzt die anatomischen Voraussetzungen genauestens untersuchen. Wie tief darf das Implantat eindringen, ohne im Unterkiefer den Mandibularkanal zu beschädigen oder im Oberkiefer in die Kieferhöhle einzudringen? In welchem Winkel muss

das Implantat stehen, um nicht den Knochen zu durchbrechen und Nerven oder Blutgefäße zu verletzen? Ist der Knochen robust und die Knochenmenge groß genug, um die künstlichen Zähne bei mechanischen Belastungen wie dem Kauen fest zu verankern? Bei der Klärung dieser Fragen spielt der digitale Volumentomograph GALILEOS seine ganze Stärke aus.

Nach dem 3D-Scan mit einer individuell angepassten Scanschablone (Abb. 4a) nimmt der Arzt im rekonstruierten Volumen alle notwendigen Längen- und Dichtemessungen vor und markiert den Mandibularkanal. Dann wählt er aus einer Implantatdatenbank die gewünschten Implantate aus, setzt sie virtuell in den Kiefer ein und positioniert sie. Mit Hilfe der Software kann sich der Arzt gewissermaßen in 360° um das Implantat herum bewegen und sich die Position des Implantats im Knochen und seine Lagebeziehung zu anatomischen Strukturen aus allen Blickrichtungen anschauen. So gelangt er zu einer an die individuelle Patientenanatomie angepassten Implantatplanung. Die Planungsdaten kann er auf CD gebrannt an den Hersteller schicken. Dort wird anhand dieser Daten eine passgenaue Bohrschablone für die spätere Operation gefertigt (Abb. 4b).

## 54 Buchbesprechung

Während des Eingriffs führt der behandelnde Arzt den Bohrer durch die Bohrhülse der Schablone exakt im geplanten Winkel in den Knochen ein (Abb. 4c). Durch eine Tiefenmarkierung am Bohrer weiß er, wie tief er bohren darf. In die Bohrlöcher setzt er anschließend das Implantat ein, das der Knochen in der Heilungsphase fest umwächst. Dann kann ein künstlicher Zahn aufgesetzt werden.

Was mit der herkömmlichen zweidimensionalen Röntgentechnik in Kombination aus Berechnungen, Ertasten des Knochens und Erfahrung des Chirurgen nur näherungsweise möglich war, lässt sich mit der dreidimensionalen Rekonstruktion messen, planen und mit Präzision durchführen. Das 3D-Röntgensystem ge-

währleistet ein Höchstmaß an Operationsicherheit und Therapieerfolg. Das freut den Zahnarzt, vor allem aber Herrn Müller, dessen Weisheitszahn-OP ohne Komplikationen verlaufen ist.

### Danksagung

Für freundliche Unterstützung danke ich Dr. Lutz Ritter, Interdisziplinäre Poliklinik für Orale Chirurgie & Implantologie, Klinik & Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie der Universität zu Köln.

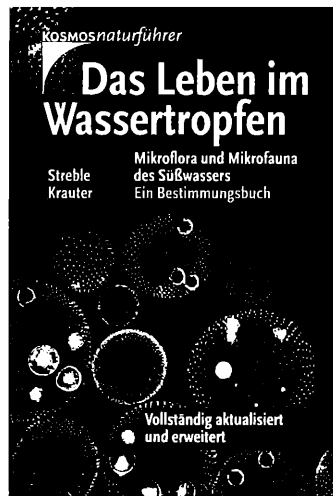
*Verfasser:* Dr. Annett Burzlaff, Sirona Dental Services GmbH, Fabrikstr. 31, 64625 Bensheim

## Buchbesprechung

**Streble, H., Krauter, D.:  
Das Leben im Wassertropfen –  
Mikroflora und Mikrofauna  
des Süßwassers. Ein Bestimmungsbuch, 10. Auflage.**  
Kosmos Verlag, Stuttgart 2006,  
429 Seiten, 1767 s/w-Zeichnungen,  
54 Farbfotos, gebunden,  
€ 29,90, ISBN 3-440-10807-4.

Die nun vorliegende 10. Auflage des „Wassertropfens“ muss ganz besonders begrüßt werden. Denn es ist wirklich eine vollständig aktualisierte und erweiterte Version dieses nun seit fast 25 Jahren etablierten Bestimmungsbuchs der mikroskopisch kleinen Flora und Fauna des Süßwassers für Laien wie für Fachleute.

Was ist neu? Ausgesprochen begrüßenswert ist die vorbildliche und ausführliche Darstellung der „Gruppen der Kleinlebewesen“. Hervorragende, gemäß dem aktuellen Wissen ausgeführte und ausführlich beschriftete Schemazeichnungen – es wurde dankenswerterweise auf seit Dekaden tradierte Alt- bis Uraltabbildungen



verzichtet – erklären die licht- wie elektronenmikroskopische Anatomie der interessierenden Organismen. Das war wohl eine ganz besondere Herausforderung für die Autoren. Sie legen eine Meisterleistung vor!

Der „Bestimmungsteil“ ist erwartungsgemäß im Wesentlichen gleich geblieben, wurde aber er-

freulicherweise um sechs Doppelseiten mit „neuen Arten“ erweitert, die zum Teil möglicherweise erst kürzlich in unser heimisches Beobachtungsgebiet eingedrungen sind. Es ist überhaupt nicht abwegig, in diesem Zusammenhang an den global erfolgreichen Klimawandel zu denken. Das Fotokapitel wurde gründlich aufgeräumt und überarbeitet. Es vermittelt Freude und auch ästhetischen Genuss, sich die teilweise wirklich herausragenden Fotos anzuschauen. Sie mögen Ansporn zu eigenem Tun sein!

Es gäbe sicherlich noch weitere Aspekte der Neugestaltung des bewährten Bestimmungsbuchs zu erwähnen. Die sollten aber Sie, die Zielgruppe, selbst herausfinden. Zögern Sie nicht, diese Neuauflage zu erwerben. Auch wenn Sie schon einen lieb gewonnenen Wassertropfen aus dem vergangenen Jahrhundert Ihr Eigen nennen, sollten Sie sich die neue Version beschaffen. Sie erhalten wirklich etwas Neues – und Schönes.

Klaus Hausmann, Berlin

# Maritime Bionik: Schlangensterne

## Teil 2: Skelettplatten

Wolfgang Hasenpusch und Torsten Zaiß

Im ersten Teil dieses Berichtes wurden die Struktur der Mundwerkzeuge und Stacheln des Riffdach-Schlangensterne (*Ophiocoma scolopendrina*) dargestellt und daraus resultierende Ableitungen unter bionischen Gesichtspunkten diskutiert (Hasenpusch und Zaiß, 2007). In diesem zweiten Teil wird eine vergleichbare Analyse der Skelettplatten durchgeführt und durch die Charakterisierung der Materialeigenschaften ergänzt. Wie im ersten Teil soll versucht werden, die Mikrostrukturen zu abstrahieren und Prinzipien aufzudecken, welche dann in einem bionischen Ansatz möglicherweise Ideen für neue industrielle Anwendungen von Materialien, Verfahren und Anwendungen liefern.

**D**a den kleinen Meeresbewohnern ein Gehirn fehlt, leiten Nervenzellen Informationen durch den Körper. Diese Zellen befinden sich auf der Oberfläche der einzelnen Armglieder. Bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen wechselt die Oberfläche ihre Farbe. Sogar im Dunkeln reagieren Schlangensterne auf Herannahendes, obwohl sie keine Augen besitzen. Dieses Verhalten setzt jedoch ein Sinnesorgan voraus. 2001 mutmaßten israelische und amerikanische Forscher (Aizenberg et al., 2001) die in der Natur einmalige Lösung nämlich das „Ganzkörper-Auge“.

Können zusätzliche neue Erkenntnisse aus den Mikrostrukturen gewonnen werden? Ist es möglich, sogar Struktur-Eigenschaftsbeziehungen zwischen teilweise ganz unterschiedlichen Eigenschaften wie Geometrie, Material, Verfügbarkeit und Funktion aufzudecken? Welche Zusammenhänge treten dabei zutage? Dazu sind in diesem Teil die dorsalen Armplatten der Armglieder näher untersucht worden. Im Folgenden werden zusätzlich die Materialeigenschaften und die Zusammensetzungen der einzelnen Körperteile diskutiert. Dazu werden auch die Eigenschaften der Zähne und Stacheln miteinbezogen.

### Struktur und Zusammensetzung der Skelettplatten

Die einzelnen Armglieder werden von vier Skelettplatten umgeben. Die kräftigen Skelettplat-

ten auf der oralen Seite sind wie die Stacheln auf der Unterseite einfarbig hellgrau bis gelbbraun gefärbt. Mit dunkelbrauner Grundtönung wechseln die dorsalen Platten in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen die Farbe in hellgrau. Bei den größeren Armplatten sind ähnlich wie bei den größeren Stacheln hellgraue Pigmentflecken zu erkennen. Die dorsalen Skelettplatten sind zum einen gleichmäßig eben aufgebaut. Zum anderen besitzen sie eine äußere Gestalt ähnlich dem Umriss einer optischen Linse. Die Größe der dorsalen Armplatten der Schlangensterne nimmt kontinuierlich von denen nahe der Rumpfscheibe (ca. 3 mm) hin zu den äußeren Bereichen (ca. 1,2 mm) ab. Trotz unterschiedlicher Größe wird interessanterweise das charakteristische Design beibehalten. Dabei sind die Mikrostrukturen folgender zwei Bereiche besonders aufschlussreich. Die Randbereiche der dorsalen Platten (Abb. 1a) und die ebenen flachen Bereiche mit bemerkenswerter Oberflächenstruktur (Abb. 1b). Über den gesamten Bereich sind an der Oberfläche kalottenförmige Wölbungen zu erkennen, die untereinander mit Stegen verbunden sind. Dies gilt auch für den Randbereich. Bei einer Ansicht schräg von der Seite (Abb. 1a) lässt sich die Rundung am Randbereich aufgrund der hohen Tiefenschärfe erahnen. Bei dieser Abbildung handelt es sich um eine Ausschnittsvergrößerung von Abbildung 1c (linker oberer Bereich). Man sieht einen fließenden Übergang bezogen auf die Versetzung der Bereiche unterhalb der Wölbungen. So können zwei Grenz-



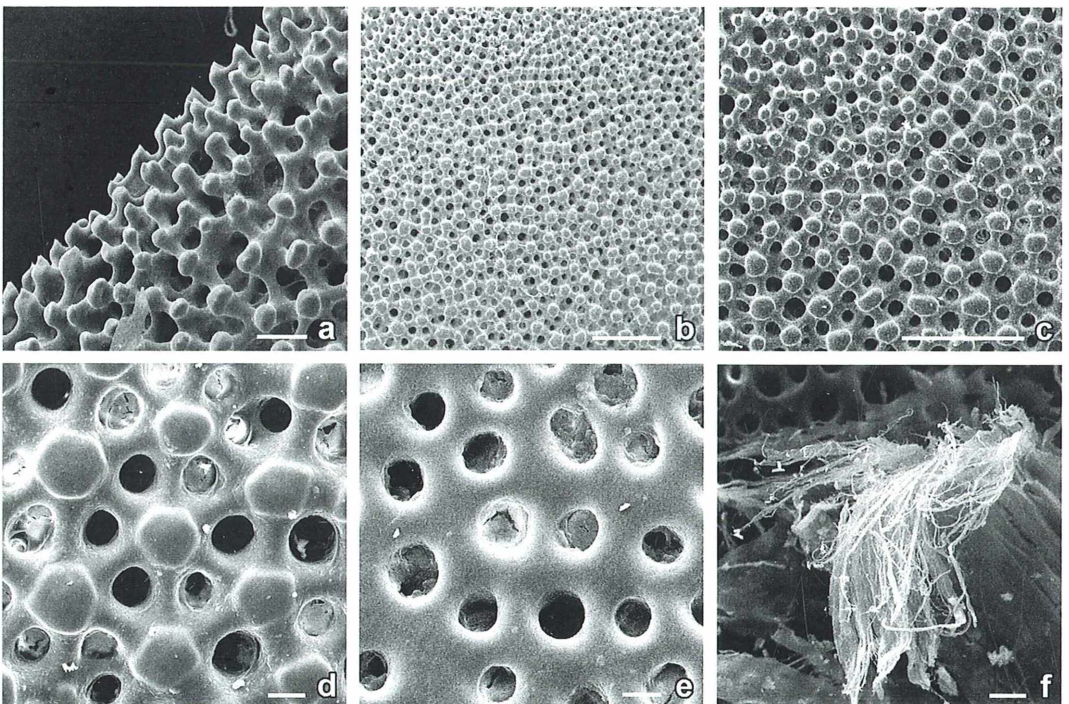
fälle diskutiert werden: Im Randbezirk einer dorsalen Skelettplatte befindet sich unterhalb einer Wölbung jeweils ein Hohlraum. Im flachen Bereich der Armplatte liegen die Hohlräume hingegen zwischen den Wölbungen und kommen untereinander zur Deckung. Aus diesen unterschiedlichen Abfolgen leitet sich jeweils eine andere Geometrie beziehungsweise Packung der Hohlräume ab.

Im Randbereich sind die Hohlräume über die umgebenden Stege kantenverknüpft. Die Stege bilden ihrerseits eine dreidimensionale Gerüststruktur ähnlich der dreidimensionalen Netzstruktur der Stacheln. Die Stege sind mit einem Ausmaß von etwa 20  $\mu\text{m}$  zwar breiter als die bis zu 10  $\mu\text{m}$  breiten Netzmaschen der Stacheln. Allerdings herrscht das gleiche Prinzip vor, nämlich eine mehr oder weniger regelmäßige Abfolge von kantenverknüpften Hohlräumen innerhalb eines Netzwerkes. Je weiter nach unten und zum Rand der dorsalen Skelettplatte hin, desto spitzer werden die Wölbungen, so dass sie den Sekundärstacheln ähneln. Es resultiert ein äußerst poröses Netzwerk, das unter möglichst geringem Materialverbrauch

eine sehr stabile Konstruktion gewährleistet und einen optimalen Schutz bietet.

### **Oberflächenstruktur der dorsalen Armplatten**

Der Bauplan von der Oberflächenstruktur der dorsalen Armplatten ist erstaunlich (Abb. 1b–d). Die flache ebene Oberfläche besticht durch ihre Regelmäßigkeit und ist gekennzeichnet von kalottenförmigen Wölbungen ( $\varnothing$  ca. 40  $\mu\text{m}$ ) und Vertiefungen ( $\varnothing$  ca. 25  $\mu\text{m}$ ), die ein charakteristisches Muster bilden (Abb. 1b). Zwei Wölbungen sind über einen ca. 20  $\mu\text{m}$  breiten Steg miteinander verbunden. Jede Vertiefung ist im Allgemeinen durch drei Wölbungen umgeben. Zusammen mit den Stegen können verschiedene Polygone diskutiert werden. Je nach Abstand zweier benachbarter Vertiefungen (Abb. 1c) bilden die Wölbungen ein Quadrat (sehr kleiner Abstand), eine Raute (kleiner Abstand, ca. 10  $\mu\text{m}$ ), ein verzerrtes Parallelogramm (mittlerer Abstand, ca. 30  $\mu\text{m}$ ) oder ein regelmäßiges Parallelogramm (größerer bis maximaler Abstand, ca. 45–55  $\mu\text{m}$ ). Dieses regelmäßige Parallelogramm besteht aus zwei



**Abb. 1:** Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von einer dorsalen Armplatte des Riffdach-Slangensterne. a Randbereich, b von oben, c Randbereich, d Hexagon, e von unten, f Faser. Maßstriche: a 50  $\mu\text{m}$ , b 200  $\mu\text{m}$ , c 100  $\mu\text{m}$ , d 25  $\mu\text{m}$ , e 15  $\mu\text{m}$ , f 25  $\mu\text{m}$ .

gleichseitigen Dreiecken mit einer Kantenlänge von etwa 85  $\mu\text{m}$ . Wenn drei regelmäßige Parallelogramme über eine gemeinsame Wölbung verknüpft sind (Abb. 1d), entsteht sogar ein regelmäßiges Hexagon. Bezogen auf eine Wölbung variiert die Anzahl benachbarter Vertiefungen in einer Bandbreite von vier bis sieben (Abb. 1b und c). Durch eine organisierte Verteilung der Vertiefungen und Wölbungen ergibt sich ein Muster, bei dem jeweils die Vertiefungen sowie die Wölbungen Kurven ausbilden. Das entstandene Muster erinnert an das der Samen einer Sonnenblume oder das der Vertiefungen einer Löwenzahn-Pustelblume ohne ihre „Samen-Fallschirme“. Die Parkettierung bewirkt eine optimale Ausnutzung der Fläche. So sind auf möglichst kleiner Fläche möglichst viele Wölbungen und Vertiefungen angeordnet.

### **Tiefere Schichten der Armplatten**

Bezieht man die in der Tiefe liegenden Schichten in die Betrachtungsweise mit ein, dann lässt sich ebenfalls ein Bauprinzip entwickeln. Die Hohlräume sind mehr oder weniger senkrecht zur Oberfläche der dorsalen Armplatte ausgerichtet. Teilweise sind sie nahezu parallel angeordnet und decken sich ohne Versetzung. In einigen Fällen werden zwei übereinander liegende Hohlräume durch eine hautähnliche sehr dünne Schicht getrennt. Oft bilden sich sogar Kanäle aus. Im Gegensatz zu den Randbereichen sind die Hohlräume hier eher flächenverknüpft als kantenverknüpft. Entsprechend dem im letzten Abschnitt beschriebenen charakteristischen Muster bilden die Hohlräume eine Art Stabpackung. Diese Stabpackung ist eingebettet in eine feste und kompakte Matrix. Im Verhältnis zur Matrix sind die Verteilung und das Volumen der Hohlräume kleiner als die in den Randbezirken. Dementsprechend sind die dorsalen Skelettplatten über die größten Bereiche im Innern weniger porös als beispielsweise die Stacheln.

### **Unterseite der dorsalen Armplatten**

Findet sich das gleiche charakteristische Muster der Vertiefungen von der Oberseite ebenfalls auf der Unterseite der dorsalen Armplatte wieder? Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen zeigen, dass die Hohlräume einen kompakten Block mit ebener Fläche ohne zusätzliche Wölbungen durchdringen (Abb. 1e). Ent-

lang charakteristischer Kurven, wie sie auch auf der Oberseite beobachtet werden, sind die Hohlräume je nach Lage auf der Unterseite mit unterschiedlicher Größe platziert. Dabei fällt ein interessanter Zusammenhang ins Auge: Je mehr sich die Gesamtheit der Hohlräume der Idealform einer hexagonalen Stabpackung ähnelt, desto dichter sind die Hohlräume angeordnet und desto kleiner ist deren Durchmesser. So sind die Hohlräume mit einem durchschnittlichen Durchmesser von 15  $\mu\text{m}$  und einem Abstand von 25  $\mu\text{m}$  (siehe Abb. 1e) kleiner als die der Oberseite und entsprechend dichter angeordnet. Dadurch, dass der Radius im Quadrat eingeht, verringert sich der Flächeninhalt bis zu etwa 65%.

Weitere Untersuchungen werden zeigen, wie die Volumenveränderung der Hohlräume im Inneren oder sogar die Kanalstruktur aussieht. Dabei wird sich herausstellen, ob eine der 14 invarianten Stabpackungen vorliegt (Rosi, 2005). Denkbar wären verschiedene Stabpackungen der Hohlräume, beispielsweise eine Art hexagonale Stabpackung, die sich konisch verjüngt, eine kubisch innenzentrierte Stabpackung  $12\Gamma$ , eine so genannte  $11^*\Sigma$ , eine  $13^*\Omega$  oder eine  $14\Sigma^*$  als Packungen, mit sich durchdringenden Hohlräumen oder eine Kombination dieser Stabpackungen (Lidin, 1995; O'Keeffe, 2001). Die beiden erstgenannten Stabpackungen sind die dichtesten ihrer Art (O'Keeffe, 1977). Im Einzelnen muss die Packungsdichte im Inneren aber noch geklärt werden.

Zusammenfassend stellt man aber Folgendes fest. Sowohl die Ober- als auch Unterseite der dorsalen Armplatte sind durch ein ähnliches, charakteristisches Muster der Hohlräume geprägt, das eine optimale Raumausnutzung bewirkt. Auf möglichst kleiner Fläche werden möglichst viele Hohlräume beobachtet. Die Natur bedient sich wieder einmal eines intelligenten Designs, denn die Form und die damit verbundene Geometrie sind gekoppelt an die Ausmaße der Hohlräume und die damit verbundene Materialverteilung.

### **Lichtsinn**

Meeresbiologen vermuteten schon seit längerem fotosensitive Nerven unter dem Skelett der Schlangensterne (Hendler, 1984). In jüngerer Zeit wird in der Literatur bei den Artverwandten *Ophiocoma wendtii* die Oberfläche als eine Ansammlung vieler Calcit-Mikrolinsen disku-

tiert, die das Licht genau auf Nervenknotten fokussieren. Die 30 µm großen Calcit-Linsen haben einen Brennpunkt 5 µm darunter, exakt im Abstand der Nerven, wie durch Versuche mit Fotogrammen festgestellt werden konnte (Aizenberg, 2001). Weitere Versuche werden in Zukunft klären, ob bei *Ophiocoma colopendrina* eine ähnliche Art der Sinneswahrnehmung vorliegt. Statt der visuellen Reize könnten auch motorische Reize durch die Wasserbewegung die Sensorik bestimmen. So würden nur indirekt das Material und die Materialeigenschaften für die Informationsübermittlung eine Rolle spielen. Wenn dem Material lediglich eine Gerüstfunktion zukommt, sind die für die Informationsübermittlung per Licht entscheidenden Eigenschaften wie das Vorliegen ein- oder mikrokristalliner Bereiche, Art der Biomineralisation (Größenanteil an organischer Matrix, Kristallwachstum, Umwandlungsprozesse der amorphen ACC-Phase) oder optische Eigenschaften wie Glanz und Transparenz, Streu- und Beugungseffekte eher unwichtig. Stattdessen wären die Hohlräume im Falle einer sensorischen Informationsübermittlung umso wichtiger. In beiden Fällen ist für den Schlangensterne aber die Packungsdichte des verwendeten Materials sowie die Materialverteilung und die damit verbundene Geometrie und der Aufbau entscheidend, um sich in der Natur behaupten zu können. Es fällt auf, wie im Laufe der Evolution vor allem die Mikrostrukturen selbst im feinsten Detail optimiert wurden.

### **Materialstruktur zwischen Armplatte und Wirbel**

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen vom Material zwischen der dorsalen Armplatte und einem Wirbel des Schlangensterns (Abb. 1f) zeigen einen ähnlichen Trend, wie er bereits bei den Zähnen (Hasenpusch und Zaiß, 2007) beobachtet werden konnte. So hat auch das Material im Inneren des Schlangensterns keinen scharfkantigen Bruch, sondern die Kristallite sind länglich faserig ausgebildet. Dabei besitzen die feinsten Fasern einen Durchmesser von 200 nm. Man erkennt, dass es sich um einen Faserverbund handelt, wobei die einzelnen Fasern parallel ausgerichtet sind. Durch diese Faserorientierung wird eine enorme Zugfestigkeit im Biomaterial erreicht. Woraus bestehen diese Fasern? Damit sind weitere Fragen verbunden, zum Beispiel nach dem verwendeten Material

und der Materialbeschaffenheit. Wie sind die Materialeigenschaften und welche Auswirkungen haben sie auf die mechanische Stabilität?

### **Materialeigenschaften und Zusammensetzungen**

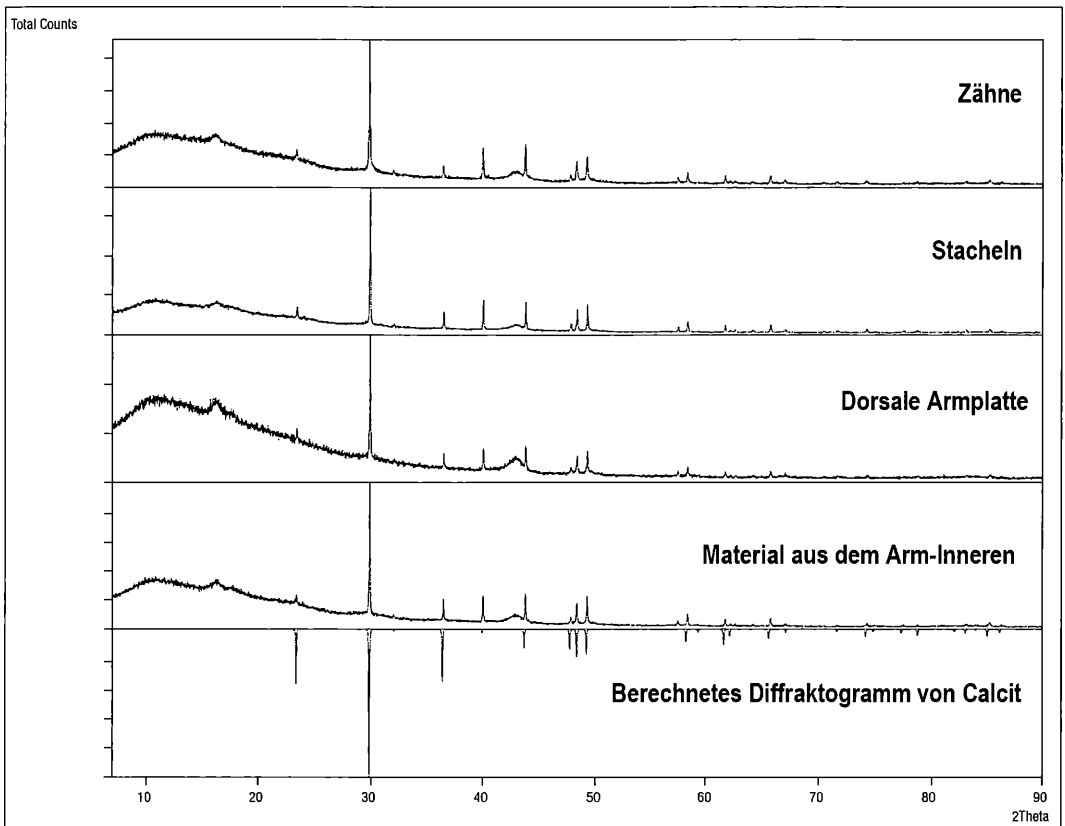
Pulverröntgenographische Untersuchungen offenbaren ein erstaunliches Ergebnis. Beim Vergleich der gemessenen Diffraktogramme von pulverisiertem Material unterschiedlicher Bestandteile der Schlangensterne (Abb. 2) stellt sich heraus, dass alle Komponenten zum größten Teil aus Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) bestehen. Dabei besitzt  $\text{CaCO}_3$  die Modifikation des Calcits. Zusätzlich stellt man fest, dass Calcit mit einem signifikanten Anteil an Magnesium stabilisiert wird.

Interessanterweise sind in jeder Probe Spuren von Schwefel vorhanden. Dies könnte auf Proteine hinweisen, die als Gerüstsubstanzen eine wichtige Rolle für die organische Matrix spielen, da sich in einem Kompartiment eines Biominerals meist geringe Mengenanteile von Proteinen befinden (Epple, 2003). In den dorsalen Armplatten sind zusätzlich sehr geringe Spuren an Silizium und Phosphor gefunden worden. Aufgrund von Abschätzungen kann aber ein nennenswerter Anteil an den sonst in der Natur häufig auftretenden Biomineralen wie Apatitbeziehungsweise Kieselsäure ausgeschlossen werden. Zusammenfassend kann für die pulverröntgenographischen und mikroanalytischen Ergebnisse Folgendes festgestellt werden: Trotz unterschiedlicher Funktion und äußerer Gestalt wird überall das gleiche Material verwendet.

### **Magnesiumgehalt**

Nach Klärung der vorliegenden Modifikation und der Analyse der Bestandteile der Schlangensterne stellt sich die Frage nach der Verteilung der Haupt- und Nebenbestandteile. Wie hoch ist der Magnesium-Anteil? Geht man von einer Ca/Mg-Mischkristallbildung aus, die nach der Vergard'schen-Regel (Vergard, 1921) einen linearen Zusammenhang zwischen Gitterkonstante und Zusammensetzung zeigt, so lässt sich mit Hilfe der pulverröntgenographischen Untersuchungen der Magnesiumgehalt in etwa abschätzen. Calcit und Magnesit kristallisieren in der gleichen Raumgruppe (Maslen, 1995) und können als Grenzfälle angenommen werden. Wenn jeweils die Gitterkonstanten der





**Abb. 2:** Vergleich der gemessenen Diffraktogramme von pulverisiertem Material unterschiedlicher Bestandteile von Schlangensternen mit dem berechneten Diffraktogramm von Calcit unter Berücksichtigung des Einbaus von Magnesium (nach Maslen et al., 1995).

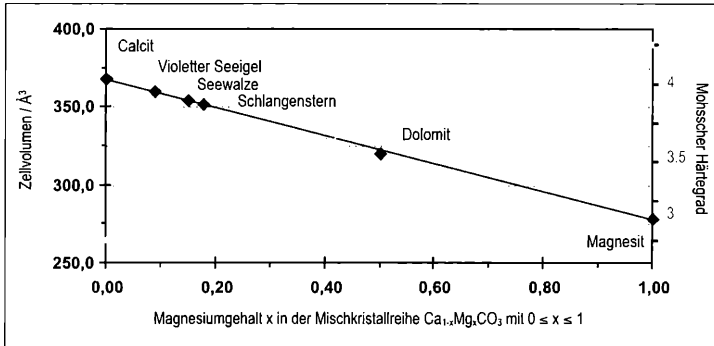
vier untersuchten Proben der Schlangensternebestandteile verfeinert werden, ergibt sich ein Magnesium-Anteil von circa 17%. Mit den angepassten Gitterkonstanten kann eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und theoretisch berechnetem Diffraktogramm erzielt werden (Abb. 2).

Zur besseren Einordnung dieser Ergebnisse ist der Vergleich der Zellvolumina weiterführend. Hierdurch können nicht nur weitere Minerale, denen ein anderes Strukturmodell zugrunde liegt, sondern auch experimentelle Daten wie der Magnesiumgehalt von anderen Stachelhäutern, wie der von Seeigeln und Seewalzen in die Diskussion mit einbezogen werden. Trägt man hierzu das Zellvolumen gegen den Magnesiumgehalt in der Mischkristallreihe  $\text{Ca}_{1-x}\text{Mg}_x\text{CO}_3$  mit  $0 \leq x \leq 1$  (Abb. 3) auf, so wird der lineare Zusammenhang und die Abnahme der Zellvolumina deutlich. Der Magnesiumanteil in

Schlangensternen ist ungefähr doppelt so groß wie der in pulverisiertem Material von Zähnen des Violettten Seeigels. Auch im Vergleich zum Mg-Gehalt von pulverisiertem Material eines Seewalzen-Kalkringes ist bei Schlangensternen eine Magnesium-Anreicherung zu erkennen. Je größer der Magnesiumgehalt, desto härter wird das Material. Trägt man in die gleiche Graphik (Abb. 3) zusätzlich den Mohs'schen Härtegrad der Calcium-Magnesium-Minerale auf, so lässt sich eine signifikante Erhöhung der Materialhärte abschätzen. Welche Auswirkungen hat dies auf die Materialeigenschaften?

### ***Einfluss der Härte auf die Materialeigenschaften und -verteilung***

Mit steigender Härte steigt auch die Stabilität. Dieses hat wieder direkte Auswirkungen auf die Materialverteilung; denn je stabiler das Ma-



**Abb. 3:** Abnahme der Zellvolumina in Abhängigkeit vom Magnesiumgehalt in der Mischkristallreihe  $\text{Ca}_{1-x}\text{Mg}_x\text{CO}_3$  mit  $0 \leq x \leq 1$ . Je größer der Magnesiumgehalt, umso härter wird das Material.

terial ist, desto geringer ist der Materialverbrauch. Bei höherer Härte und geringerer Materialverteilung kann so auch die Porosität erhöht werden, um den gleichen Stabilitätsanforderungen zu genügen. Von der Porosität und der Materialverteilung hängt wiederum die Dichte bezogen auf eine Volumeneinheit des Biominerals ab. Die Dichte ihrerseits wird hauptsächlich vom verwendeten Material beeinflusst. In der Entwicklungsgeschichte der Schlangensterne hat sich die Natur offensichtlich das beste Material zunutze gemacht. Gesichtspunkte wie die Verfügbarkeit spielen ebenso eine wichtige Rolle wie die Verwendung des Biominerals an sich. Denn der Einsatz anderer Biominerale würde elementare Auswirkungen auf die Beweglichkeit, Schnelligkeit und die Schutzmechanismen haben. Die zusätzliche Magnesium-Stabilisierung des Calcits hat nicht nur einen Ressourcen sparenden Materialverbrauch zur Folge, sondern auch einen direkten Einfluss auf das entwickelte Gesamtsystem. Das Baumaterial und dessen Beschaffenheit stellen einen idealen Kompromiss dar. Auf diese Weise schließt sich der Kreis (Abb. 4).

Die Wahl des Materials und dessen Modifikation ist Hand in Hand mit dem Konstruktionsprinzip der Formen im Hinblick auf die Funktion optimiert. So hat die Evolution mit Hilfe einer Optimierungsstrategie der Parameter im Laufe der Jahrtausende ein ausgeklügeltes intelligentes Design erschaffen, mit dessen Hilfe letztendlich den Schlangensternen ein Überleben in der Natur gesichert wird.

### Maritime Bionik

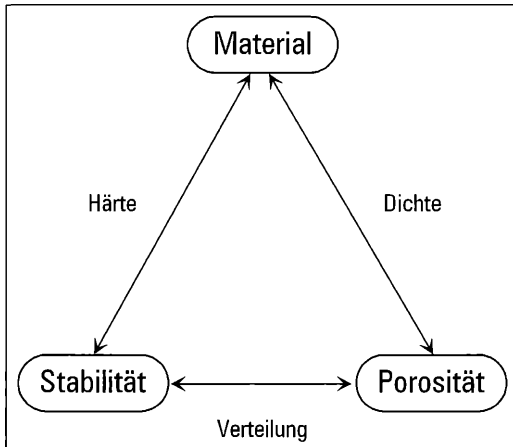
Nach Auswertung der vielfältigen Funktionen und Mechanismen der Riffdach-Schlangensterne stellt sich die Frage nach dem bionischen

Potential. Wie lassen sich die neu gewonnenen Erkenntnisse zu Ideen weiterentwickeln?

Das dicht gepackte, regelmäßige Röhrensystem der dorsalen Armplatten könnte Pate für eine neue Generation von Filterelementen und Filterkerzen stehen. Auch bei neuartigen Schalldämpfern ist ein Gewebe denkbar, in dem das Stabpackungssystem der Hohlräume realisiert ist. In den eingebauten Schikanen des Gewebes würde sich der Schall nicht mehr gradlinig ausbreiten, sondern er könnte auf möglichst kleinem Volumen möglichst oft gebrochen werden, so dass eine außerordentlich hohe Effizienz erreicht wird. Das Prinzip der regelmäßigen Verteilung in möglichst kleinem Volumen bei maximaler Oberfläche bietet sich für neue Katalysatorträger an. Ebenso könnten neue Soxhlet-Hülsen zur Extraktion und Filterung aus Metall oder Keramik entwickelt werden.

Eine Sensation war natürlich die Entdeckung der Linsensysteme in den oberen Calcit-Platten der Arme, die einen Lichtstrahl auf Nervenknotten bündeln. Techniker versuchen dieses Multi-Linsen-Prinzip auf industrielle Anwendungen zu übertragen. Ein mögliches Anwendungsgebiet wären etwa intelligente Materialien, die je nach Lichteinfall ihre Eigenschaften verändern oder die Impulse an Rezeptoren weiterleiten und verstärken. Vielleicht lassen sich neben den flachen Fresnel-Linsen auch vorteilhafte vernetzte Linsen konstruieren.

Neben den Formen geben auch die materialspezifischen Eigenschaften Anlass neue Ideen zu entwickeln. Weitere Untersuchungen werden zeigen, inwieweit die Magnesium-Härtung bei  $\text{CaCO}_3$  materialwirtschaftlich nutzbar gemacht werden kann. Die Stabilisierung eines Materials durch Dotierungen sensibilisiert darüber nachzudenken, ob auch andere Elemente oder Zusatzstoffe den Materialeigenschaften Vor-



**Abb. 4:** Intelligentes Design der einzelnen Bau- und Körperteile eines Schlangenters und die damit verbundene Optimierung der Parameter im Laufe der Evolution.

teile verschaffen könnten. Dabei beschränken sich die Überlegungen nicht nur auf spezifische Eigenschaften wie Biege-, Druck-, Scher-, Zugfestigkeit, Elastizität und Stabilität im Allgemeinen. Vielmehr wäre in Zukunft auch die optische oder magnetische Qualität von Werkstoffen durch den Einbau von Farbzentren beziehungsweise Eisen zu verbessern. Der Ideen-suche sind kaum Grenzen gesetzt.

### Zusammenfassung und Ausblick

Durch rasterelektronenmikroskopische und pulverröntgenographische Untersuchungen der verschiedenen Bauteile der Riffdach-Schlangensterne lernt man nicht nur viel über den inneren Aufbau, sondern erkennt wie die verschiedenen Parameter in einem Wirkungskreislauf ineinander greifen. Selbst der Einbau von Spuren wie Schwefel und von Nebenbestandteilen wie Magnesium hat direkte Auswirkungen auf das Gesamtsystem (Biomineralisation bzw. Stabilisierung).

Mit Hilfe der abgeleiteten Bauprinzipien werden die biologischen Funktionen diskutiert, die den einzelnen Komponenten zukommen. Im Hinblick auf die Nahrungsaufnahme, Atmung, einzelner Schutzmechanismen bis hin zum Informationsaustausch mit der Außenwelt sind die Parameter, die das Biomaterial und die Form bestimmen, jeweils bemerkenswert effektiv aufeinander abgestimmt. In einem „goldenen Mittelweg“ werden Multifunktionalität,

Verfügbarkeit der Biomineral-Komponenten, Effizienz bei den Bauteilen (möglichst niedriger Energie- und Materialaufwand bei möglichst hoher Stabilität) und optimale Gerüst-Strukturen in Einklang gebracht. All diese Ergebnisse bilden die Grundlage für neue Ideen und bionische Inspirationen.

So ist die nähere Untersuchung und die schöpferische Übertragung der Prinzipien keinesfalls an den *Ophiocoma scolopendrina* gebunden, vielmehr gibt es Anstoß sich auch mit den Mikrostrukturen vieler weiterer Meeresorganismen zu beschäftigen. Angesichts der Tatsache, dass nicht nur am Meeresrand, sondern vor allem in der Tiefsee Myriaden unerforschter Lebewesen ihren Platz und ihre ökologische Nische gefunden haben, schlummert im Meer ein gewaltiges Potential an neuen Ideengebern für die Zukunft.

### Danksagung

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

### Literaturhinweise

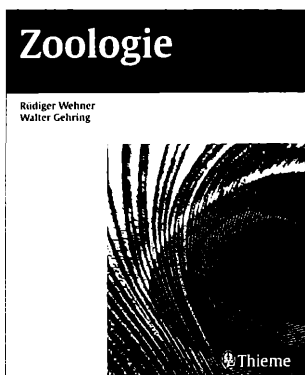
- Aizenberg, J., Tkachenko, A., Weiner, S., Addadi, L., Hendler, G.: Calcitic microlenses as part of the photoreceptor system in brittlestars. *Nature* 412, 819–822 (2001).
- Epple, M.: Biomaterialien und Biomineralisation. Teubner Verlag, Stuttgart 2003.
- Hasenpusch, W., Zaiß, T.: Maritime Bionik: Schlangensterne – Teil 1: Mundwerkzeuge und Stacheln. *Mikrokosmos* 96, 357–363 (2007).
- Hendler, G.: Brittlestar color-change and phototaxis (Echinodermata: Ophiuroidea: Ophiocomidae). *Mar. Ecol.* 5, 379–401 (1984).
- Lidin, S., Jacob, M., Andersson, S.: A mathematical analysis of rod packings. *J. Solid State Chem.* 114, 36–41 (1995).
- Maslen, E. N., Streltsov, V. A., Streltsova, R.: Electron density and optical anisotropy in rhombohedral carbonates. III. Synchrotron x-ray studies of  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  and  $\text{MnCO}_3$ . *Acta Crystallogr.* B51, 929–939 (1995).
- O’Keeffe, M., Andersson, S.: Rod packings and crystal chemistry. *Acta Crystallogr.* A33, 914–923 (1977).
- Rosi, N. L., Kim, J., Eddaoudi, M., Chem, B., O’Keeffe, M., Yaghi, M.: Rod packings and metal-organic frameworks constructed from rod-shaped secondary building units. *J. Am. Chem. Soc.* 127, 1504–1518 (2005).
- Vergard, L.: Die Konstitution der Mischkristalle und die Raumbfüllung der Atome. *Z. Phys.* 5, 17–26 (1921).

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



## Buchbesprechungen

**Wehner, R., Gehring, W.:**  
**Zoologie, 24. Auflage.**  
 Thieme Verlag, Stuttgart 2007,  
 951 Seiten, 1160 Abbildungen,  
 broschiert, € 49,95,  
 ISBN 978-3-13-367424-9.



Seit der 1. Auflage 1922, die Alfred Kühn begründete, wurde dieses Standardwerk der Zoologie beständig aktualisiert und erweitert. Zur jetzigen 24. Auflage gab es allerdings einen recht großen Sprung: Die Autoren schrieben große Teile neu, vertieften viele Bereiche, und vor allem veränderten sie das didaktische Konzept. Die neue „Zoologie“ ist großformatig und durchgängig farbig gestaltet, was sich besonders positiv auf das Verständnis der zahlreichen Schemazeichnung auswirkt. Auch Halbtonabbildungen verschiedener Techniken – beispielsweise Licht- und Rasterelektronenmikroskopie – wurden integriert. Das veränderte Seitenlayout verwendet Hauptspalten für den fließenden Text und Randspalten, die im Wesentlichen Abbildungen und/oder Abbildungslegenden beinhalten. Meist wirkt die Seitengestaltung gefällig, teilweise entstehen aber auch etwas leer wirkende Bereiche, wenn die Randspalten frei bleiben.

Die Autoren haben es verstanden, trotz des fast unüberschaubaren Wissenszuwachses, ein übersichtliches, aktuelles Gesamtwerk der Zoologie zu erhalten, beziehungsweise neu zu gestalten. Überzeugt von der „Einheit zoologischen Forschens und Denkens“ bündeln R. Wehner und W. Gehring in 12 Kapiteln zoologische Aspekte (Struktur und Funktion der Zelle, Vererbung, Entwicklung, Stoff- und Energiewechsel, Hormonale Koordination, Neuronale Koordination, Sinnesleistungen, Bewegung, Verhalten, Ökologie, Evolution, Vielfalt der Organismen). Im organismisch-systematischen Teil, der etwa ein Fünftel des Buches einnimmt, werden neue molekulare Erkenntnisse hinzugezogen, um einer phylogenetischen Systematik zu folgen. Ein Anhang und ein ausführliches Glossar beschließen dieses Lehrbuch.

Die Autoren verstehen es, auch komplexe Sachverhalte verständlich und anschaulich zu vermitteln, so dass die „Zoologie“ sowohl für Einsteiger der Biologie als auch für beispielsweise fortgeschrittene Studenten sehr zu empfehlen ist.

Renate Radek, Berlin

**Bright, M.: 1001 Naturwunder, die Sie sehen sollten, bevor das Leben vorbei ist.**

Edition Olms AG, Zürich 2007,  
 960 Seiten, über 800 Farbbilder, Softcover, € 29,95,  
 ISBN 978-3-283-00542-9.

Die sieben, von Menschenhand geschaffenen Weltwunder der Antike sind Jedermann ein Begriff; ihre Großartigkeit ist unbezweifelnd. Mindestens ebenso beeindruckend sind die Kunstwerke, die die Natur geschaffen hat. Michael Bright hat nun in seinem schwer-

gewichtigen Werk der Naturwunder die nahezu unüberschaubare Zahl von 1001 der schönsten Naturphänomene zusammengestellt. 26 Reisejournalisten, Wissenschaftler und Naturentdecker haben dazu beigetragen, die Sehenswürdigkeit der Erde in ihrer Pracht zu präsentieren. Dabei handelt es sich sowohl um landschaftliche Phänomene wie imposante Gebirge, Täler, Wasserfälle, Meeresregionen, Flusslandschaften, Wüsten etc. als auch um typische Tiere und Pflanzen dieser Regionen. Auch heimische Landschaften wird man finden, wie das Rhein- oder Elbtal.

Geordnet nach Kontinenten – ein Ausschnitt des Globus zeigt die Lage des Ortes an – folgt nach einer Kurzanzeige der (meist) geographischen Daten eine halbseitige Erläuterung. Je nach Art des Naturwunders, werden insbesondere die geologischen Aspekte und die besondere Tier- und Pflanzenwelt oder Fossilien aufgezeigt. Auch Einflüsse der menschlichen Kultur, Legenden, die sich um das Naturschauspiel ranken, oder die beste Reisezeit werden preisgegeben. Dies geschieht nicht nach „Schema F“, sondern abwechslungsreich und unter Einbeziehung der im speziellen Fall spannendsten Informationen. In erster Linie aber lenken die fantastischen Farbbilder das Auge des Betrachters auf die zahlreichen Naturdenkmäler. Nahezu jedem Ort wird ein halb- bis ganzseitiges Bild gewidmet – man weiß gar nicht, wo man anfangen soll zu stöbern. Ein Menschenleben reicht jedenfalls kaum aus, all diese einen Besuch wertenden Orte der Erde mit eigenen Augen zu erleben.

Dieses Buch kann viele Abende für die nächste Urlaubsplanung füllen, oder zumindest ein Stückchen grandioser Natur ins heimische Wohnzimmer holen.

Renate Radek, Berlin

# Mikro-Markt

**Mikro-Markt Online**

75,- € je Monat  
5-fach unter

Nähere Infos unter  
[www.elsevier.de/journals](http://www.elsevier.de/journals)  
oder Tel.: 03641/62 64 48

**Anzeigenschluss für die nächste Ausgabe (2/2008): 25.1.2008**

Preise für Mikro-Markt-Anzeigen (je mm bei 68 mm Spaltenbreite):

Privat	€ 1,80	Vorzugspreis für Abonnenten der Zeitschrift	
Geschäftlich	€ 2,60	(nur Privatanzeigen)	€ 1,30
Chiffregebühr	€ 8,00	Preise zzgl. gesetzlicher MwSt.	

**Senden Sie Ihren Anzeigenauftrag an:**

**Elsevier GmbH, Anzeigenleitung: Postfach 10 05 37, D-07705 Jena**

**Telefon: 0 36 41/62 64 48 · Fax: 0 36 41/62 64 21 · E-Mail: [e.baier@elsevier.com](mailto:e.baier@elsevier.com)**

### Zu verkaufen:

**Zeiss West Fotomikroskop II**, mit separatem Steuerungsgerät, komplett, Okulare KPL W 12,5 x, mit NeoFluar Optik, großer Kreutztisch, mit Phasenkontrastkondensor, guter Zustand, VB 2.400,- Euro.

**Zeiss West Universal** mit III RS - Kondensor (Fluoreszenz) 5 Fluorit-Objektive (Neofluare) HBO 50 mit Vorschaltgerät 100 Watt Hallogen (Durchlicht) mit Trafo, dreh- und zentrierbarer Kreuztisch, großer Phasenkontrastkondensor, gerader Fototubus, VB 2.800,- Euro.

**Leica DM LB Mikroskop** mit 100 Watt Beleuchtung Für Hell- und Dunkelfeld Nplan Objektive: 5x, 10x, 40x, 100x (mit Iris) Optovar 1 - 1,5 - 2, Trinokularer Fototubus, Okulare LPlan 12,5, Brille C-mount-Videoadapter, VB 1.900,- Euro.

**Zeiss WL-Stativ**, schwarz, guter Zustand mit  
Hellfeldkondensor, ohne Optik, VB 380,- Euro.

**Zeiss großer Kreutztisch „Fußballfeld“** mit Pol-Objektführer und Normalobjektführer, VB 280,- Euro.

**Kontakt: Tel. 0711-3169923 • f.janus@gmx.net**

Gute gebrauchte **Zeiss-West-Objektive / -Okulare / -Zubehör.** Gewährleistung und 4-wö. Rückgaberecht. [www.thilo-immel-optics.de](http://www.thilo-immel-optics.de), Tel. 0551/632804.

**www.mikroskopier-bedarf.de**

online-shop & Service/Reparaturen

Tel./Fax: 0341/461 65 96

**LOMO-Mikroskop 103** für Schüler  
preisgünstig gesucht. Kontakt: Tel. 0 99 53/527

# Gesundheit ist ein Menschenrecht









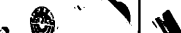
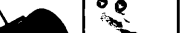


Deshalb hilft ÄRZTE OHNE GRENZEN  
in rund 70 Ländern Menschen in Not –  
ungeachtet ihrer Hautfarbe, Religion  
oder politischen Überzeugung.

**Helfen Sie mit!**



ÄRZTE OHNE GRENZEN e.V.  
Am Köllnischen Park 1 • 10179 Berlin  
[www.aerzte-ohne-grenzen.de](http://www.aerzte-ohne-grenzen.de)  
Spendenkonto 97 0 97 • Sparkasse KölnBonn • BLZ 380 500 00

**Vorführgeräte Mikroskopie/Astronomie zu Sonderpreisen**  
**Sonderlisten anfordern oder <http://www.bw-optik.de>**

Jenamed CZJ		Großfeldstecher 25x100	Fernglas Myauchi 20x80	WW-Okular F=17,5 Intes	Plüssl Okular F=25 CZJ	Zeiss Oberkochen Okular F=27
						
						
Zoom-Spektiv 20x50-50 Russland	Sonnar 2,8/180 CZJ	BWO Bino Fokus	2'' Zenitspiegel BW-O /CZJ	Jenalab CZJ	Zeiss Oberkochen 2'' Okular f=30/85°	Rodenstock Gigant 2'' Okular f=40/70°

## SONDEROPTIK

**BW - OPTIK**  
DIREKTVERSAND LANGNER-VOSS

**Telefon: 04962/996484 • Fax: 04962/996717**

Blücherstr. 5 • D-26871 Aschendorf

Internetshop: [www.bw-optik.de](http://www.bw-optik.de)

# AUGEN BLICK



Vererbte Netzhaut-Degeneration:  
Makula-Degeneration, Retinitis pigmentosa, Usher-Syndrom,  
Alters-Makula-Degeneration... jeder 40. in Deutschland.  
Restsehen und Erblindung sind immer noch die bitteren Folgen.

## Hinnehmen? Nein. Handeln? Ja.

PRO RETINA arbeitet aktiv als anerkannte Selbsthilfegruppe:  
Praktische Lebenshilfe - von der Kindheit bis ins Alter. Gezielte  
Unterstützung sinnvoller Forschung.

## LICHT INS DUNKEL. PRO RETINA.

### ...UND SIE:

Konto-Nr. 54 800-605, BLZ 500 100 60, Postgirokonto Frankfurt.  
**PRO RETINA** Deutschland e.V., Vaalser Str. 108, 52074 Aachen

#### Impressum

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

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

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

Anzeigenleitung: Elsevier GmbH, Niederlassung Jena, Deutschland, Ansprechpartner: Erika Baier, Löbdergraben 14a, 07743 Jena. Tel.: +49(0)36 41/62 64 48, Fax: +49(0)36 41/62 64 21; E-Mail: e.baier@elsevier.com

Anzeigenpreise: Gültig ist die Preisliste vom 1. Januar 2008.

Lieferkonditionen (2008): Band 97 (1 Band mit 6 Ausgaben)

Abopreise\* (2008):

Land	Bandpreis	Vorzugspreis für Schüler, Azubis und Studenten	Einzelheft
D, A, CH, FL*	82,00 EUR	51,00 EUR	17,00 EUR

\* Deutschland, Österreich, Schweiz, Liechtenstein

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

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

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

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

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

Postbank Stuttgart, Kontonummer 6930-706 (BLZ 600 100 70), IBAN DE80 6001 0070 0006 9307 06, BIC PBNKDE33HAN

Bitte geben Sie bei der Zahlung ihre vollständigen Daten an.

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

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

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

Druck/Bindung: 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>



# Hinweise für Autoren

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

2. Die Redaktion bittet, Manuskripte auf fortlaufend nummerierten DIN A4-Bögen einzureichen. Zugunsten der Themenvielfalt in einem Heft können keine überlangen Artikel berücksichtigt werden. Ein Manuskript darf bei 1,5fachem 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 3,5"-Diskette (kein Macintosh) oder 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. Auch 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 zusam-

men mit den Korrekturandruckten der Artikel den Autoren zugeschickt 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. Zusätzliche Sonderdrucke können auf Nachfrage vom Verlag auf eigene Kosten bezogen werden.

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

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

Mikrokosmos  
1/2008

1 (6)

510543  
Bibliothek des OÖ.  
Landesmuseums

Museumstraße 14  
4020 Linz

300229