II 90372/95,4

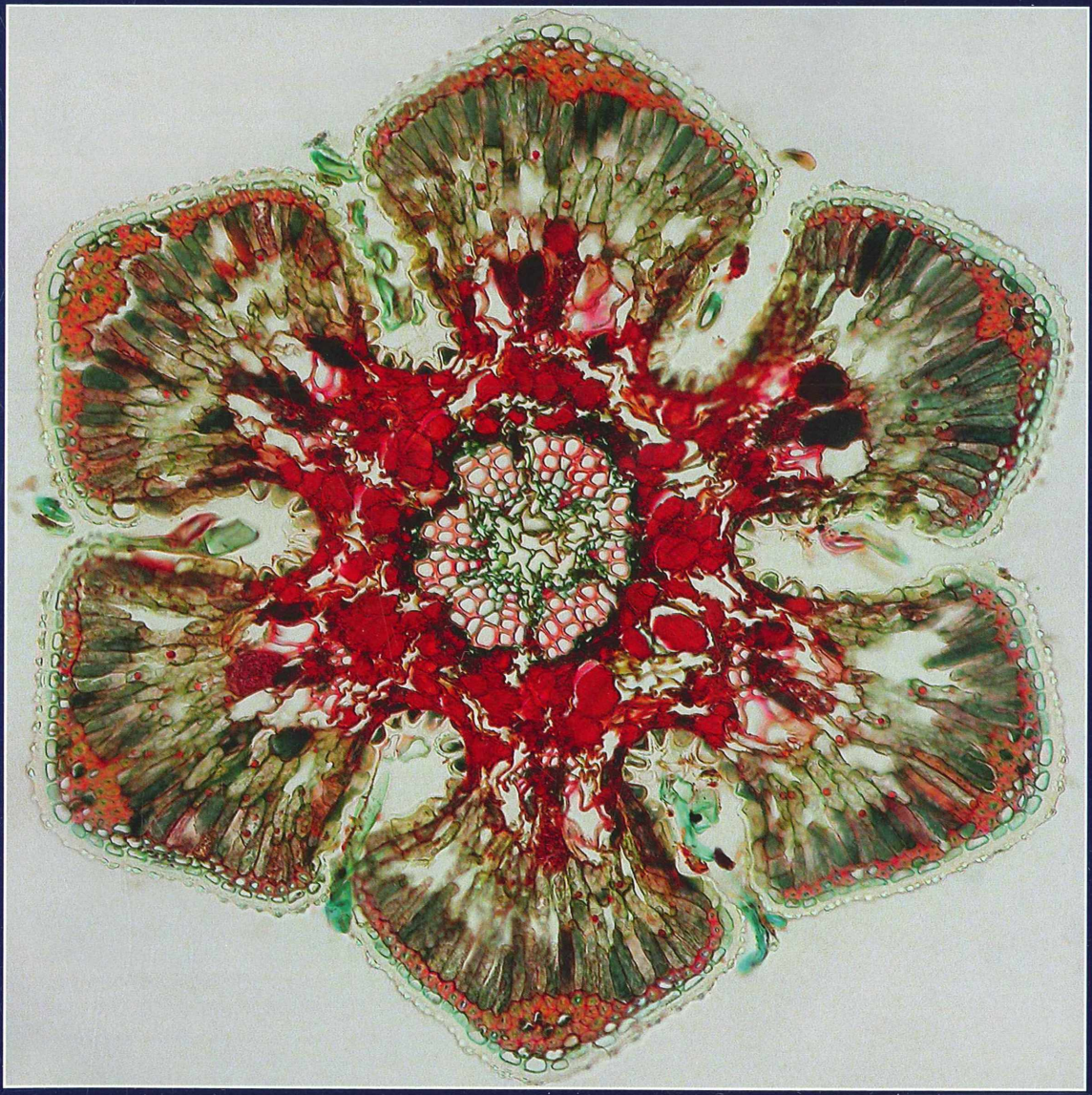
ELSEVIER
URBAN & FISCHER

MIKROKOSMOS

Heft 4
95. Jahrgang
Juli 2006

www.elsevier.de/mikrokosmos

ISSN 0026-3680



© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

MIKROKOSMOS Zeitschrift für Mikroskopie

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

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

Inhalt

Artikel

193 *Spirostomum caudatum* – Ein „Sumpfwurm" mit Schwanz und partiell sessiler Lebensweise
Josef Brief

199 Über fossile Osteoblasten in Sauropodenknochen – Der Einsatz der Mikroskopie in der Wirbeltierpaläontologie
Hans-Volker Karl

203 Ein Tessovar auf Fliegenfang – Freilandaufnahmen mit der Zeiss-Zoom-Fotolupe
Erich Lüthje

207 Zur Morphologie und Biologie von *Hypogastrura socialis* (Insecta, Collembola)
Hans-Jürgen Schulz

210 Eine neue und einfache Methode zur polychromatischen Anfärbung von Paraffinschnitten pflanzlicher Gewebe für Durchlicht- und Fluoreszenzmikroskopie
Robin Wacker

213 Mikroskopischer Einblick in die Formenvielfalt magmatischer Kristalle am Beispiel des akzessorischen Zirkons
Robert Sturm

221 Ein Fremdling in der Mikroflora von sauren Tagebaurestseen
Wolfgang Jacob

227 Schirmpigmentwanderungen im Auge der Skorpione – Die Tageszeit histologisch sichtbar gemacht
Michael Lüttgen

233 Zeichnen am Mikroskop – Erleben mit dem Bleistift
Wolfgang Bettighofer

247 Zellen und Strukturen mit berühmten Namen. Teil 1: Purkinje-Zellen
Bernd Walz

251 Höhepunkte in der Geschichte der Immersionsobjektive

Rubriken

197, 206, 232
Kurze Mitteilungen

202
Aus der Industrie

219
Mikro-Kids

245
Nachricht

250, 253
Buchbesprechungen

254
Aus den Arbeitsgemeinschaften

255
Mikro-Markt

Im elektronischen MIKROKOSMOS-ARCHIV **www.elsevier.de/mikrokosmos** werden mit Erscheinen dieses Heftes fünf Artikel über mikroskopische Untersuchungen von Getreiden aus den Bänden 44, (1954/55), 45 (1955/56) und 46 (1956/57) wiedergegeben.

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

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

Umschlagabbildung: Querschnitt durch ein Blatt von *Casuarina equisetifolia* (Strand-Keulenbaum, Streitkolbengewächse). Siehe Artikel von R. Wacker, S. 210–212.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Spirostomum caudatum – Ein „Sumpfwurm" mit Schwanz und partiell sessiler Lebensweise

Josef Brief

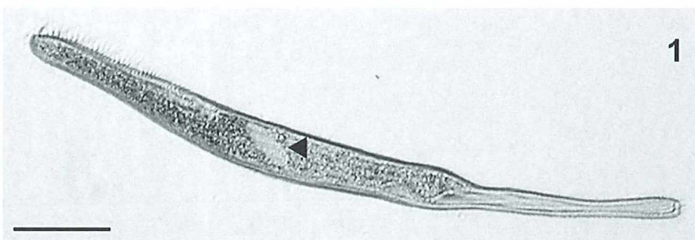
***Spirostomum caudatum* ist ein zwar auffälliger, jedoch eher selten anzutreffender heterotricher Ciliat. Er ist daher weniger bekannt als die anderen Arten der Gattung, fällt dem Beobachter aber sofort wegen des schwanzartig verschmälerten Hinterendes auf (lat. cauda = Schwanz). Bei der Untersuchung und Dokumentation der hier beschriebenen Population wurde überraschenderweise eine partiell sessile Lebensweise beobachtet, die bisher bei dieser Gattung unbekannt war.**

In der Systematik der Protisten wird die Gattung *Spirostomum* unter die Alveolata – Ciliophora – Heterotrichea – Heterotrichida eingeordnet (Foissner et al., 1992; Hausmann et al., 2003). Neben der Gattung *Stentor* gehört *Spirostomum* wohl schon wegen der Größe mancher Arten zu den bekannteren Vertretern dieser Ordnung. Zusätzlich zu den typischen Merkmalen der heterotrichen Ciliaten zeichnen sich beide Gattungen durch eine starke Kontraktilität aus (Foissner et al., 1992; Hausmann et al., 2003).

Spirostomum caudatum lässt sich aufgrund seines schwanzartig verschmälerten Hinterendes gut von den anderen Spezies der Gattung unterscheiden. An weiteren Merkmalen ist der ovoide Makronukleus sowie das Verhältnis Peristom: Körperlänge von nur 1:4 nützlich. Der sehr ausgeprägt kontraktile Organismus wird mit einer Länge von 200 bis 700 µm (meist 200–300 µm) beschrieben (Repak und Isquith, 1974).

Spirostomum ambiguum, *S. minus* und *S. teres* sind die häufiger anzutreffenden Arten der Gattung. Man findet sie in eher sauerstoffarmen Gewässern, wobei *S. minus* in α- bis β-mesosaproben, *S. ambiguum* in α-mesosaproben und *S. teres* in polysaproben Gewässern mit deutlichem H_2S-Gehalt zu finden sind (Foissner et al., 1992).

Die hier beobachtete Art *S. caudatum* soll oligo- bis β-mesosaprobe Gewässer bevorzugen, bei einem Saprobitätsindex von nur 1,4. Zu dieser saprobiellen Einstufung werden jedoch Zweifel geäußert (Foissner et al., 1992),



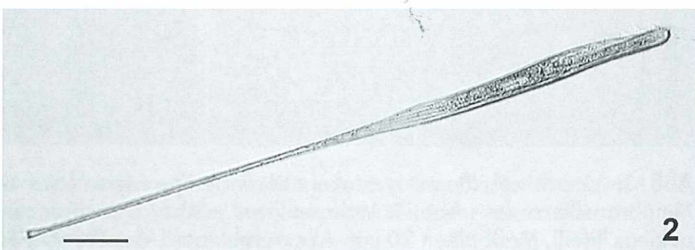


Abb. 1–12: *Spirostomum caudatum*. Alle Maßbalken entsprechen 50 µm, außer in Abbildung 5 (20 µm). – Abb. 1: Freischwimmendes, nicht gestrecktes Exemplar. Pfeilkopf zeigt auf Makronukleus. – Abb. 2: Festsitzendes, mäßig gestrecktes Exemplar.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

welche durch die Begleitfauna der hier beschriebenen Exemplare bestätigt werden.
Zu der zeitweise sessilen Lebensweise von *Spirostomum caudatum* konnte keine weitere Literatur gefunden werden. Mir selbst war die Sessilität zunächst nicht aufgefallen. Erst Herr Prof. Dr. W. Foissner, dem ich eine Foto-CD zeigen konnte, machte mich hierauf aufmerksam.

Fundort, Identifikation und Morphologie

Spirostomum caudatum wurde in zwei recht verschiedenen Biotopen gefunden. Zunächst in einem im Vodertaunus – nahe Frankfurt am Main – gelegenen Waldweiher. Der Weiher ist als Amphibienschutzgebiet ausgewiesen und wird von einem sehr kleinen Mittelgebirgsbach gespeist. Er ist von Laubbäumen dicht umgeben, zentral großflächig von Seerosen bedeckt, und circa 1/5 des Ufers ist schilfbewachsen.
Im Spätsommer war am nördlichen Ende des Schilfbereiches ein leichter Schwefelwasserstoff-Geruch wahrnehmbar. Die Proben wurden Mitte September und Mitte Oktober 2004 entnommen. Im Oktober konnte ich die Wassertemperatur mit knapp 13 °C messen, der pH-Wert betrug 7,5. *S. caudatum* fand sich zahlreich in Proben der oberen Detritusschicht an verschiedenen Entnahmestellen in etwa 10–20 cm Wassertiefe. Nicht ein Exemplar konnte jedoch in dem nach H_2S riechendem Areal gefunden werden. Die Individuendichte war im September noch deutlich höher als im Oktober: Bis zu acht Individuen unter dem Deckglas im September im Vergleich zu maximal 1–2 Tieren im Oktober.
Im Frühjahr 2005 wurde der Ciliat in Detritusproben mit reichlich Gallertresten von Froschlaich in einem künstlich angelegten Amphibienbiotop eines Altarmes der Nidda erneut zahlreich gefunden und konnte in Rohkulturen mit Reiskörnern oder Fischfutterflocken angezüchtet werden. Die Identifikation als *Spirostomum caudatum* war schon aufgrund der auffallenden Körperform (Abb. 1 und 2) mit Hilfe des Ciliatenatlas (Foissner et al., 1992) problemlos

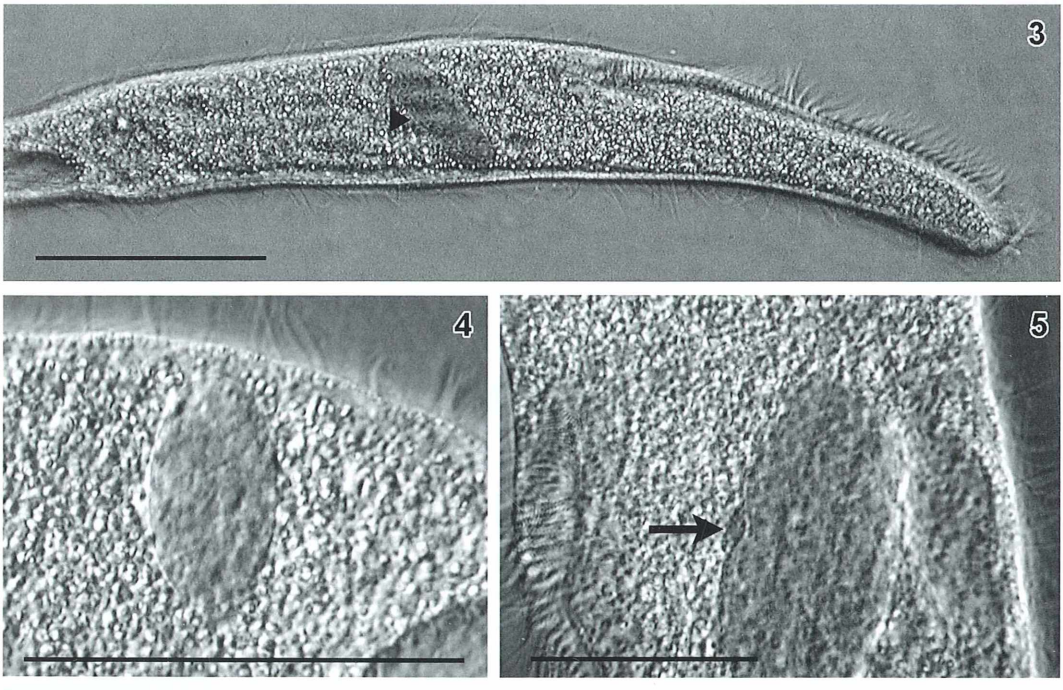


Abb. 3: Anteriore Hälfte mit gut erkennbarem, ellipsoidem Makronukleus (Pfeilkopf) und adoraler Membranellenzone. – Abb. 4: Makronukleus. – Abb. 5: Makronukleus mit eng anliegendem Mikronukleus (Pfeil), Maßbalken 20 µm. Alle Aufnahmen: Modifizierter Phasenkontrast.

© Elsevier GmbH, Alle Rechte vorbehalten

möglich. Zusätzliche Merkmale sind der elliptische, im mittleren Drittel gelegene Makronukleus (Abb. 3–5) sowie die relativ kurze, über das vordere Viertel nicht hinausreichende adorale Membranellenzone (Abb. 1 und 2). Anders als von Repak und Isquith (1974) beschrieben, konnte ich statt vieler kleiner, in parallelen Reihen angeordneter Mikronuklei bei vorsichtigem Durchfokussieren meist nur einen dem Makronukleus eng anliegenden Mikronukleus beobachten (Abb. 5).
Differentialdiagnostisch kämen eventuell *S. teres* wegen seines ähnlichen Makronukleus sowie *Pseudoblepharisma tenue* als Verwechslungsmöglichkeiten in Betracht. *S. teres* weist jedoch eine insgesamt plumpere, zigarrenförmige Zellform auf, *Pseudoblepharisma tenue* ist nicht kontraktil.
Die größenmäßig sehr variablen Tiere maßen in der Länge circa 300 bis 700 (!) µm, je nach Kontraktions- oder Dehnungszustand, wobei die hohen Längenmaße nur von gerade festsitzenden und in diesem Zustand meist sehr gedehnten Exemplaren erreicht wurden. Die Breite betrug im Bereich des Körpers 25–40 µm, im Schwanzbereich etwa 8–15 µm. Der Makronukleus maß etwa 30 × 15 µm. Bei der Kontraktion der Tiere, zum Beispiel als Schreckreaktion auf Erschütterungen, war die eindrucksvolle engspiralige Anordnung der Wimpernreihen schön zu erkennen (Abb. 6).
Die im Schwanz gelegene kontraktile Vakuole zeigt einen im posterioren Drittel dorsal verlaufenden, aber weiter anterior zentraler durch das Tier ziehenden Sammelkanal. Insbesondere bei den in Kultur angereicherten Ciliaten konnte der Zellteilungsvorgang häufiger beob-

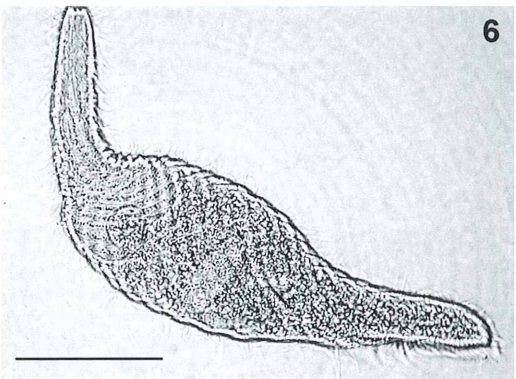


Abb. 6: Stark kontrahiertes Tier mit deutlich erkennbaren, spiralig verlaufenden Wimpernreihen.

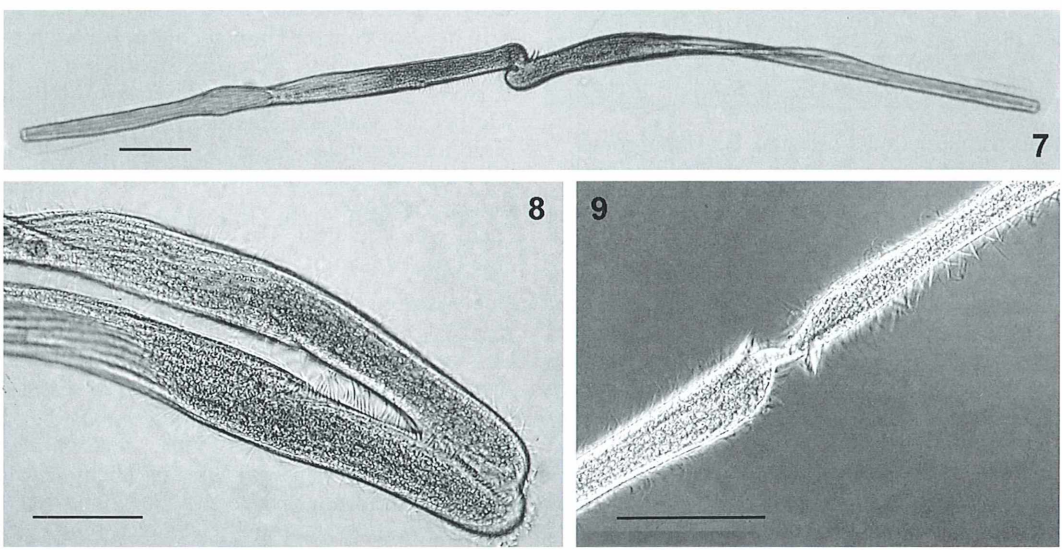


Abb. 7–9: *Spirostomum caudatum* in Konjugation. – Abb. 7: Konjugationspaar in der Übersicht. – Abb. 8: Verschmelzung im Oralbereich, Makronuklei der Konjuganten nicht mehr erkennbar. – Abb. 9: Konjugationspaar kurz vor der Trennung. Phasenkontrast.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

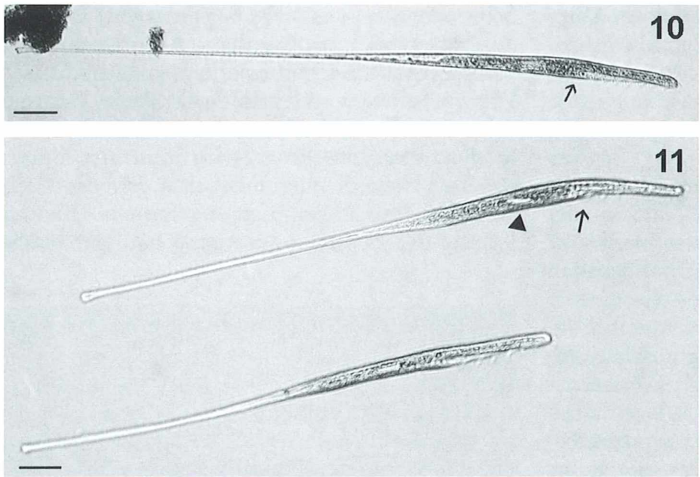


Abb. 10 und 11: Festsitzende, deutlich gestreckte Exemplare. Dehnung im Caudalbereich. Der Pfeil zeigt auf das Ende der AZM, der Pfeilkopf auf den Makronukleus.

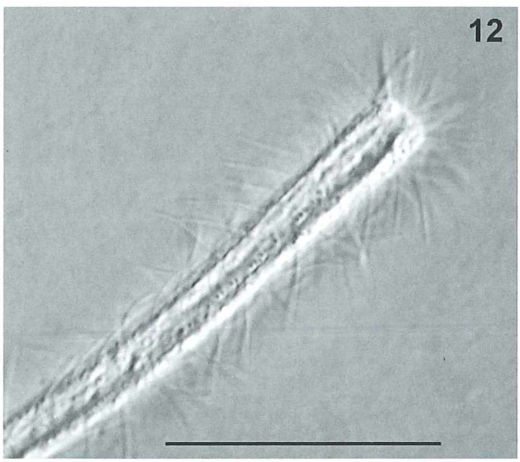


Abb. 12: Posteriores Zellende. Ein Haftorganell oder adhäsionsvermittelnde Fortsätze sind nicht erkennbar. Modifizierter Phasenkontrast.

achtet werden. Auch konnten einige in Konjugation befindliche Exemplare studiert und dokumentiert werden (Abb. 7–9). Sehr schön ließ sich hierbei die typische, allmähliche Auflösung des Makronukleus beobachten.

Sessiles Verhalten

Bereits unter dem Deckglas fielen gelegentlich einzelne, sehr gestreckt wirkende Tiere auf, welche sich nicht speziestypisch langsam schwimmend oder scheinbar kriechend fortbewegten, sondern vielmehr unbeweglich verharrten (Abb. 2, 10, 11), wobei das anteriore Körperende im Bereich des Peristoms meist nach ventral gebeugt erschien. Beim Durchmustern der Rohkulturen unter dem Stereomikroskop bei 40facher Vergrößerung konnte ich auf einer der (Fisch-)Futterflocken circa 20 anhaftende Tiere, senkrecht stehend, gruppiert angeordnet beobachten. Dieses Verhalten trat zwar nicht häufig auf – meist waren die Tiere zwischen Detritusteilchen schwimmend oder auf dem Boden der Petrischalen kriechend zu sehen –, jedoch konnte es wiederholt, insbesondere bei sehr ruhiger Untersuchung, beobachtet werden. Es handelte sich offensichtlich um ein zeitweise sessiles Verhalten dieser Art, ähnlich wie bei der Gattung *Stentor*. Den eigentlichen Haftmechanismus oder gar ein Haftorganell im Schwanz der Tiere konnte ich jedoch auch bei hoher Vergrößerung (Abb. 12) nicht ausmachen, was von Prof. Dr. W. Foissner, dem ich eine Probe zusandte, bestätigt wurde.

Begleitfauna

An begleitenden Ciliaten wurden in beiden Biotopen insbesondere *Loxodes magnus* und *L. striatus* zahlreich vorgefunden. *Spirostomum minus* und *S. ambiguum* wurden ebenfalls an beiden Fundorten zahlreich beziehungsweise spärlich gesehen.
An für die saprobielle Einstufung möglicherweise relevanten Rädertieren wurden in dem im Taunus gelegenen Weiher mehrere Exemplare von *Rotaria neptunia* beobachtet.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Die oligo- bis β-mesosaprobe Einstufung mit einem Saprobitätsindex von nur 1,4 erscheint unter diesen Umständen, wie schon in der Literaturübersicht erwähnt, zu niedrig. Es ist zu vermuten, dass diese Art ähnlich wie *S. minus* oder *S. ambiguum* einzustufen ist, das heißt ein α-mesosaprobes Milieu bevorzugt. Hierzu passen von Foissner in den Nahrungsvakuolen vorwiegend angetroffene Bakterien (Foissner, pers. Mitteilung) sowie ein baldiges Absterben der Tiere in einem sauerstoffreichen Milieu wie zum Beispiel in einem offen auf dem Objektträger stehenden Tropfen.

Resümee

Die Probenentnahme zur rechten Zeit am rechten Ort – wie so oft war es auch diesmal ein Zufall, der diese Beobachtungen ermöglichte. In jedem Fall ist es ein Ansporn für weitere Expeditionen und kurzweilige Stunden am Mikroskop.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Professor Dr. Wilhelm Foissner herzlich für seinen ausschlaggebenden Hinweis und die freundliche Beratung bedanken.

Literaturhinweise

Brief, J.: Minimal dezentrierter Phasenkontrast – Eine sehr einfache Methode zur Kontrastverbesserung bei hoher Vergrößerung. Mikrokosmos *94*, 203–205 (2005).

Foissner, W., Berger, H., Kohmann, F.: Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems – Band II: Peritricha, Heterotrichida, Odontostomatida. Informationsberichte des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 5/92 (1992).

Hausmann, K., Hülsmann, N., Radek, R.: Protistology, 3rd edition. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 2003.

Repak, A. J., Isqith, I. R.: Systematics of *Spirostomum*. Acta Protozool. *12*, 326–333 (1974).

Verfasser: Dr. Dr. Josef Brief, Tituscorso 2–4, 60439 Frankfurt am Main, E-Mail: drdrbrief@yahoo.com

Kurze Mitteilung

Virus als Hilfsmittel der Zellanalyse

Es ist eine bekannte Tatsache, dass Viren bei Säugetieren die zelluläre Maschinerie dazu benutzen, um ins Innere der Zellen einzudringen, also die Gastzellen zu infizieren. In den letzten Jahren ist es gelungen, den Weg der einzelnen Virus-Partikel im Mikroskop zu verfolgen. Auf diese Weise konnten die Ereignisse, welche die Virus-Partikel in der lebenden Zelle auslösen, erforscht werden. Mit Hilfe der Zeitraffer-Mikroskopie ist es möglich geworden, die spezifische Kinetik (oder Dynamik, d.h. die Wechselwirkung zwischen Kräften und den sich daraus ergebenden Bewegungen eines Teilchens) der Endozytose (die Aufnahme von Partikeln durch Adsorption an der Plasmamembran), die Zytoskelettreorganisation und die Virus-Infektionen zu analysieren. So wurden also die Viren zu Hilfsmitteln der Zellbiologie (Abb. 1).

Neben der Anwendung der Zeitraffer-Mikroskopie ist eine weitere Voraussetzung die Möglichkeit, die einzelnen gereinigten Virus-Partikel sichtbar zu machen; dies geschieht mit Hilfe von Fluorophoren. Meist wird dazu ein fluoreszierendes Protein an das Virus angeheftet. Um ein einzelnes Virus-Teilchen im normalen oder Standard-Konfokal-Mikroskop sichtbar zu machen, werden mindestens 50 Fluorophore benötigt. Als erstes wurde das Adenovirus (Ad 2) mit circa 1000 Alex Fluor-Molekülen markiert und so im Zeitraffer-Konfokal-Fluoreszenzmikroskop beobachtet. Mit 500 Alex Fluor-Molekülen markiert, wurde dann auch das Simian Virus 40 (SV 40) in Richtung und der Schnelligkeit seiner Bewegung analysiert.

In vielen Fällen führen die durch das Virus induzierten Signale zu dynamischen Änderungen des Aktin-Zytoskeletts: Das Simian-Virus (SV 40) führt nach der Bindung an die Zelloberfläche zum Beispiel zum Abbau der Aktin-Stressfasern und des kortikalen Aktin-Zytoskeletts, womit die Endozytose aktiviert wird. Viren, welche direkt mit der Plasmamembran fusioniert sind, müssen aber noch die kortikale Aktin-Barriere

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

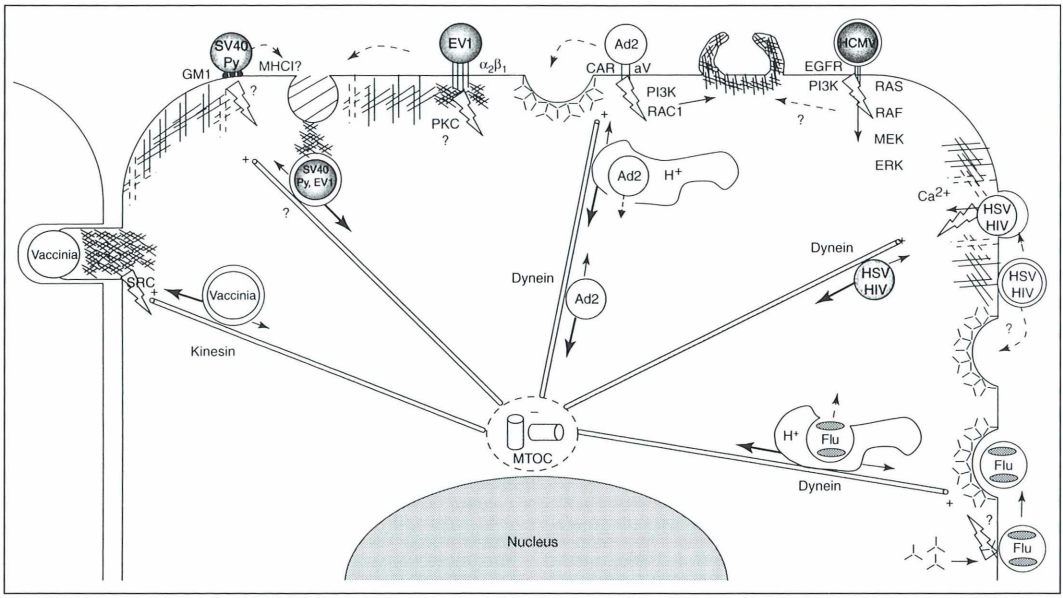


Abb. 1: Schematische Darstellung, wie verschiedene Säugetier-Viren sich beim Eindringen in die Wirtszelle der zellulären Systeme bedienen.
Die Polymerisation des Aktins ist durch die Dichte der Schraffierung in der kortikalen Region angedeutet. Die von den verschiedenen Viren ausgehenden Signale sind durch Blitze bezeichnet. Die Mikrotubuli sind durch Doppellinien dargestellt, ihre Polarität ist mit + und – Symbolen angegeben.
Ad2 = Adenovirus 2; CAR = Coxsackie Virus B Adenovirus Rezeptor; EV 1 = Echovirus 1; Flu = Influenza-Virus; GM 1 = Gangliosid GM 1; HCMV = Humanes Cytomegalovirus; HIV = Humanes Immunodefizienz-Virus; HSV = Herpes simplex-Virus; MHC = Major Histocompatibility Complex; MTOC = Mikrotubuli-Organisations-Zentrum; Nucleus = Zellkern; Py = Polyome Virus; SRC = zelluläres V-src Sarkom-Virus onkogenes Homologon; SV 40 = Simian-Virus 40; dreistrahliger Stern = Clathrin (ein trimeres Strukturprotein, mit dem Molekülgewicht von 180 000 D) (nach Pelkmans, 2005).

überwinden. Das HSV-1 Virus löst dieses Problem durch Aktivierung von Kalzium, von dem bekannt ist, dass es die Depolymerisierung des kortikalen Aktins induziert und zu einer Destabilisierung der fokalen Adhäsion führt. Das Influenza-Virus (Flu) bindet die individuellen Partikel nicht direkt an vorgeformte, mit Clathrin bedeckte Einbuchtungen an der Oberfläche, sondern initiiert die Bildung jener Schichten unter der Oberfläche. Schließlich werden alle Virus-Partikel entlang der Mikrotubuli mit Hilfe der Mobilitätsproteine Kinesin und Dynein zum dicht beim Zellkern gelegenen Organisationszentrum (MTOC) bewegt. Denn schließlich können die Viren sich nur vermehren, wenn sie sich an den Nukleinsäure-Stoffwechsel im Kern anschließen können.
Diese neue Forschungsrichung liefert also Informationen über die Wege, entlang welcher die Virus-Infektion stattfindet. Außerdem aber wird das gut charakterisierte Virus-Modell-System dazu benutzt werden, um wichtige Fragen der Zellanheftung, der Partikeleintritte, der Replikation und Translation zu beantworten. Kontrollierte Virus-Infektionen werden unentbehrliche Hilfsmittel für die künftige Zellphysiologie werden.

Literaturhinweis

Pelkmans, L.: Viruses as probes for systems analysis of cellular signalling, cytoskeleton reorganization and endocytosis. Current Opinion in Microbiology *8*, 331–337 (2005).

H. F. Linskens, Nijmegen

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Über fossile Osteoblasten in Sauropodenknochen – Der Einsatz der Mikroskopie in der Wirbeltierpaläontologie

Hans-Volker Karl

Schon lange war der Steinbruch der Firma Kalkwerk Oker GmbH am Langenberg bei Gosslar als ergiebige Fundstelle für Fossilien der verschiedensten mesozoischen Tiere und Pflanzen aus dem Oberjura (Kimmeridgium, ca. 140 Mio. Jahre alt) unter den Fachleuten bekannt. Darunter befanden sich auch bedeutende Reste von Dinosauriern, die derzeitig wissenschaftlich beschrieben werden. Die darunter befindlichen Sauropodenreste sind für Europa einmalig. Der Ultrastruktur des Unterarmknochens (Ulna) eines Sauropoden vom Langenberg gilt der vorliegende Vergleich.

Die abgedeckten Knochen-Dünnschliffe wurden im Durchlicht untersucht und dokumentiert. Hierbei kamen das Mikroskop Olympus BX 60, das Binokular Olympus SZ-CTV und die Kamera TKC 1380 E von JVC zum Einsatz. Die interessierenden Ausschnitte wurden vorher mit dem Makroobjektiv Auto-Macro 50 mm, 1:35 des OM-Systems von Zuiko ausgewählt. Der Maßstrich beträgt in allen Fotografien 200 µm.

Systematische Position des Sauropoden

Untersucht wurden fossile Knochen von Sauropoden. Diese lassen sich systematisch folgendermaßen einordnen:

Ordnung Saurischia, Seeley 1888
Infraordnung Sauropoda, Marsh 1878
Familie Camarasauridae, Cope 1877
Unterfamilie Brachiosaurinae, Janensch 1929

Die bisher bekannten Arten der Typusgattung sind nach Steel (1970): *Brachiosaurus altithorax* Riggs 1903 aus der Morrison Formation (Oberjura) des westlichen Colorado/USA; *Brachiosaurus brancei* Janensch 1914 aus dem Oberjura vom Tendaguru in Tansania/Ostafrika und *Brachiosaurus atalaiensis* Lapparent und Zbyszewsky 1957 aus dem Kimmeridgium von Portugal. In ihrem zeitlichen Auftreten ist diese Gruppe der Sauropoden nach bisheriger Kenntnis auf das Kimmeridgium (152,5 bis 146 Mio. Jahre vor heute) beschränkt. Es sind die typischen langhalsigen, kleinköpfigen, langschwänzigen, plumpen und vierfüßigen Dinosaurier, der Dinosaurier-Typus schlechthin. Es waren vermutlich Pflanzenfresser; Magensteine sind bekannt.

Beschreibung und Vergleich

Zur Untersuchung lagen die Dünnschliffe in exakt ausgerichteter Längs- und Querrichtung der Ulna eines juvenilen Individuums vor.

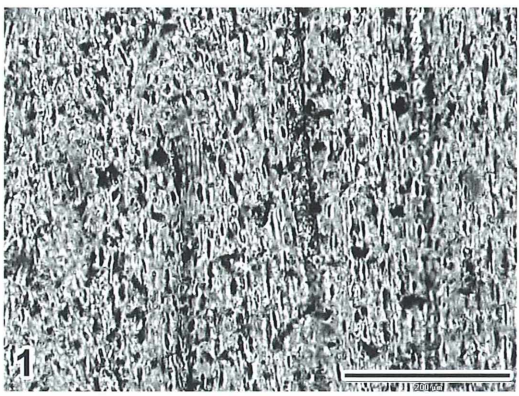
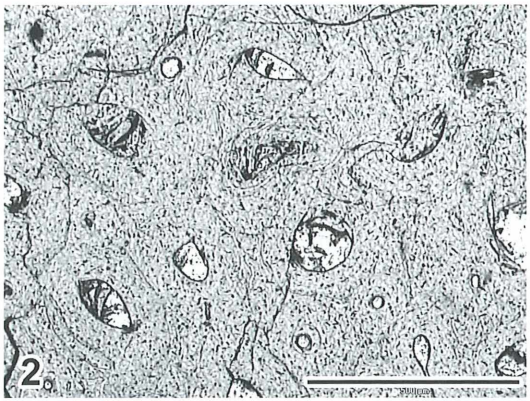


Abb. 1: Ungefärbter Längsschnitt eines Unterarmknochens (Ulna) von einem Sauropoden vom Langenberg. Deutliche Längsorientierung der Havers'schen Kanäle bei gleichmäßig diffuser Verteilung der Osteoblasten in den undeutlich differenzierten Schalen. Die Maßstriche aller Abbildungen betragen 200 µm.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/



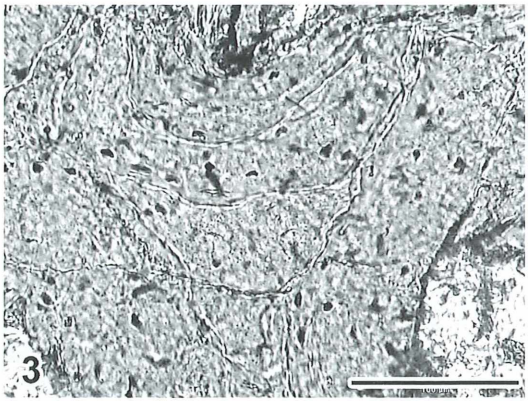


Abb. 2: Ungefärbter Querschnitt der Sauropoden-Ulna. Orthogonaler Querschnitt der Havers'schen Kanäle bei gleichmäßig diffuser Verteilung der Osteoblasten in den sich gerade differenzierenden Schalen. Nur sehr wenige Kanäle befinden sich in Schalen mit mehrfacher Differenzierung, wie etwa oberhalb des Zentrums. – Abb. 3: Ausschnitt des stärker differenzierten Kanals aus Abbildung 2.

1. *Längsschnitt:* Im Anschliff lassen sich die langgestreckten und den ganzen Knochen längs durchziehenden Havers'schen Kanäle nachweisen. Die sie umschließenden Knochenröhren sind noch nicht scharf gegeneinander abgesetzt. Ihre Grenzen lassen sich nur ausnahmsweise ausmachen. Die Grenzbereiche sind letztendlich nur durch die wesentlich höhere Anzahl von Ossifikationszentren (Osteoblasten, Knochenbildungszellen) gekennzeichnet (Abb. 1).
2. *Querschnitt:* Der Anschliff im Querschnitt zeigt ebenfalls keine deutlichere Abgrenzung der Kristalllagen der die Havers'schen Kanäle umschließenden Knochenröhren, welche in dieser Schnittebene auch Schalen oder Kapseln genannt werden (Abb. 2 und 3). Die Havers'schen Kanäle sind mit Kalziumkarbonat ausgefüllt.

Schon Seitz (1907) verglich die Dünnschliffe von Rippenfragmenten der Sauropoden *Atlantosaurus* Marsh 1877 (syn. *Brontosaurus* Marsh 1869), *Diplodocus* Marsh 1878, *Haplosaurus* Hatcher 1903 und *Camarasaurus* Cope 1877 (syn. *Morosaurus* Marsh 1878) untereinander. Außer dem Kapselprinzip und den Havers'schen Kanälen sind zum vorliegenden Material keine Beziehungen herzustellen, da die Materialien aus verschiedenen Körperbereichen strukturell nicht ohne weiteres vergleichbar sind.

Hier soll lediglich auf die Bedeutung der hohen Anzahl von Osteoblasten in den Knochen juveniler oder embryonaler Reptilien verwiesen werden. Als Vergleich dient ein Hämalaun-Eosin gefärbter Längsschnitt eines Embryos der Rotwangen-Schmuckschildkröte (*Trachemys scripta elegans* Wied 1839) im Bereich des letzten Sakralwirbels und der ersten Caudalwirbel (Abb. 4–6). Auch hier befinden sich höhere Osteoblasten-Konzentrationen in Bereichen intensivierter Ossifikationsprozesse.

Diskussion

Zusammenfassende Darstellungen über die Knochenstruktur fossiler Amphibien, Reptilien und Dinosaurier finden sich bei Haubold (1989) und Seitz (1907). Die Knochenstruktur ist in Beziehung zur Größe als Kriterium zur Bestimmung der Wachstumsrate herangezogen worden. Sie wurde auch als wichtigster Beweis für die Endothermie der Dinosaurier verwendet. Man ist sich unterdessen im Klaren darüber, dass ein Zusammenhang innerhalb der speziellen physiologischen Prozesse und letztendlich der Stoffwechselrate nicht nachzuweisen ist. Nach heutigem Kenntnisstand deutet auch nichts auf ein abruptes Ende des Knochenwachstums hin, im Sinne des Erreichens einer individuellen Maximalgröße. Im Gegenteil scheinen gerade die großen Sauropoden ein kontinuierliches Wachstum besessen zu haben, wenn das auch im höheren Alter etwas verlangsamt war, was den Verhältnissen der bekannten Reptilien entspricht. Früher wurde für die verschiedenen Dinosaurier ein nicht beweisbares größenabhängiges Alter von durch-

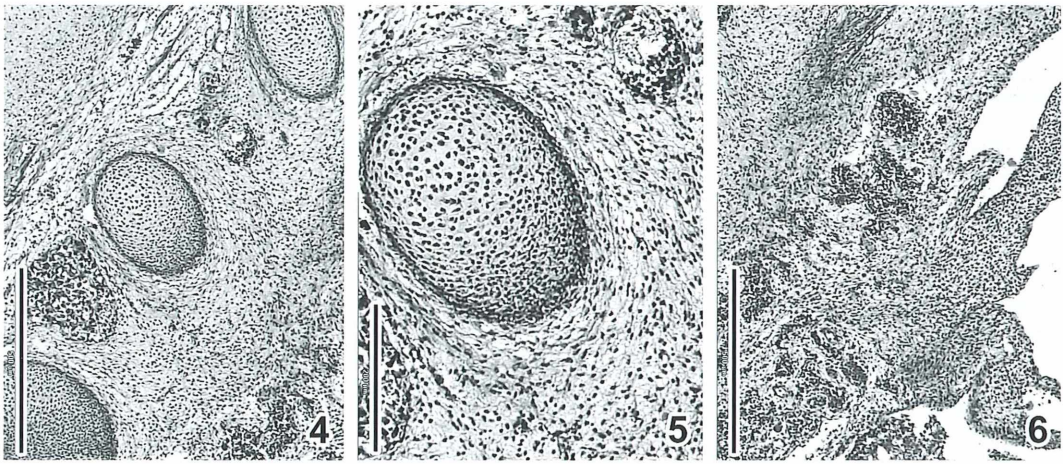


Abb. 4–6: HE-gefärbter Längsschnitt von Anlagen der letzten Lumbalwirbel beim Schildkrötenembryo *(Trachemys scripta elegans)*. – Abb. 4: Deutliche Aktivitätszonen der Osteoblasten. – Abb. 5: Eine Anlage eines Lumbalwirbels aus Abbildung 4 zur Darstellung der Osteoblastenverteilung innerhalb der Wirbelanlage. – Abb. 6: Beginnende Differenzierung des Sacralbereiches aus einer diffusen, dichten Osteoblastenwolke.

schnittlich 75 bis 300 Jahren angenommen. Wie Haubold (1989) hierzu vermerkt, müssten demnach die Funde von den meisten Dinosauriern von unausgewachsenen Tieren stammen, was unrealistisch erscheint.

In unserem vorliegenden Fall ist nur der juvenile Status gesichert, im Vergleich zu einer Gesamtgröße von 12 Metern des Berliner Exemplars von *Brachiosaurus brancei* als Vergleichsmodell. Die noch relativ undifferenzierte Ausbildung der die Havers'schen Kanäle umschließenden Knochenröhren (Kapselbildung im Querschliff) belegt ein sehr niedriges Individualalter beim vorliegenden Exemplar.

Alles in allem ist der Typus des Knochenzuwachses bei Dinosauriern weder identisch mit denen lebender Endothermen noch mit denen von Ektothermen (Haubold, 1989). In jüngerer Zeit wurden Beispiele aus verschiedenen Reptiliengruppen bekannt, die zumindest eindeutige Ansätze von Homoiothermie aufweisen. Hierzu gehören die Lederschildkröte *Dermochelys coriacea* (Linnaeus, 1766) (Standora, et al., 1984) und die Suppenschildkröte [*Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758): Anapsida] (Standora et al., 1982) sowie der Hechtalligator [*Alligator missisippiensis* (Daudin, 1802): Diapsida] (Standora und Drawer, 1977). In allen Fällen ließ sich ein physiologisches Vermögen nachweisen, die Körpertemperatur mehrere Grad über der Umgebungstemperatur zu halten. Auch in der Knochenstruktur des Oberarms (Humerus) der Lederschildkröte [*Dermochelys coriacea* (Linnaeus, 1766)] ließen sich progressive Strukturen unter anderem in den Spannungslinien nachweisen, welche als mammalian skeletal features beschrieben wurden (Rhodin et al., 1981). Als eindeutig ektothermes Indiz müssen mittlerweile die Fälle von Befiederung bei verschiedensten Theropoden, ja selbst von *Tyrannosaurus rex* (Osborn, 1905) gelten, wie sie verstärkt seit der zweiten Hälfte der 1990er Jahre bekannt wurden. Über Sauropoden ist damit allerdings noch nichts weiter bewiesen.

Die Dinosaurier gehören wie Reptilien und Vögel zu den Diapsida (abgeleitet Triapsida, Archosauria). Archosaurier bilden auf Inseln Riesenformen, wie zum Beispiel den Komodowaran [*Varanus komodoensis* (Ouwens, 1912)], Moastrauße (Dinornithiformis) oder Madagaskarstrauße (Aepyornithiformis), ähnlich den anapsiden Riesen-Landschildkröten (Testudinidae). Säugetiere bilden hingegen Zwergformen auf Inseln, wie Stegodonten oder Zwergelefanten [*Palaeoloxodon antiquus falconeri* (Busk, 1867)]; diese gehören zum abgeleiteten Ast einer ganz anderen Reptiliengruppe, den Synapsida. Hierbei spielen wohl eher die Vermehrungstypen eine Rolle als die Stoffwechselarten.

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Danksagung

Dem Betreiber des Kalkwerkes Oker GmbH, Herrn Florian von Pupka sei wegen der Möglichkeit der Bearbeitung durch das Dinosaurier-Freilichtmuseum Münchehagen herzlich gedankt. Gleiches gilt den Herren Bernd Wolter und Nils Knötschke von dieser Einrichtung für die Bereitstellung der Dünnschliffe zur wissenschaftlichen Bearbeitung. Diese wiederum wurden im Rahmen der Ausbildung zum Geologisch-paläontologischen Präparator an der Höheren Berufsfachschule in Bochum hergestellt. Herr Dipl.-Ing. W. Herzel von der Fachhochschule Erfurt/FB Bauingenieurwesen unterstützte bei den Fotoaufnahmen. Die histologischen Schnitte wurden im Pathologischen Institut der Medizinischen Akademie Erfurt angefertigt und fotografiert.

Literaturhinweise

Haubold, H.: Die Dinosaurier. Die Neue Brehmbücherei *432*. Ziemsen Verlag, Wittenberg-Lutherstadt 1989.

Rhodin, A. G. J., Ogden, J. A., Cologue, G. J.: Chondroosseous morphology of *Dermochelys coriacea*, a marine reptile with mammalian skeletal features. Nature *290*, 244–246 (1981).

Seitz, A. L.: Vergleichende Studien über den mikroskopischen Knochenbau fossiler und rezenter Reptilien. Nova Acta Leopoldina *87*, 7–370 (1907).

Standora, E. A., Drawer, P. O.: An eight-channel radio telemetry system to monitor alligator body temperatures in a heated reservoir. In: F. M. Long (Ed.): Proceedings of the first international conference on wildlife biotelemetry, p. 70–78. University of Wyoming, Laramie 1977.

Standora, E. A., Spotila, J. R., Foley, R. E.: Regional endothermy in the sea turtle, *Chelonia mydas*. J. Thermal Biol. *7*, 159–165 (1982).

Standora, E. A., Spotila, J. R., Keinath, J. A., Shoop, C. R.: Body temperatures, diving cycles, and movement of a subadult leatherback turtle, *Dermochelys coriacea*. Herpetologica *40*, 169–176 (1984).

Steel, R.: Part 14. Saurischia. In: O. Kuhn (Ed.): Encyclopaedia of palaeoherpetology. Gustav Fischer Verlag, Jena 1970.

Verfasser: Dr. Hans-Volker Karl, Universität Salzburg, Abteilung Paläontologie, Hellbrunner Straße 34, A-5020 Salzburg. E-Mail: hvkarl@web.de

Aus der Industrie

LED Multilight – Das Licht der Zukunft

Die neuen Mulitlight LED-Ringbeleuchtungen der optometron wurden kontinuierlich weiterentwickelt (Abb. 1) und setzen sich zunehmend für Beleuchtungsanwendungen durch. Mit ihren außergewöhnlichen Eigenschaften sind die LEDs hervorragend zur Beleuchtung im Bereich Stereomikroskopie geeignet. Der Einsatz von LEDs bietet eine nahezu reflexfreie Beleuchtung bei einer angenehm kalten Farbtemperatur der weißen LEDs von 5500 Kelvin.

Dank ihrer wesentlich günstigeren Energiebilanz im Vergleich zu konventionellen Lampen sparen sie nicht nur Energie, sondern sind sehr zuverlässige, langlebige Leuchtmittel mit geringem bis keinem Wartungsaufwand. Die Mulitlight LED-Leuchten von optometron werden in unterschiedlichen Formen (als Ring oder Fläche) und Größen in den Farben Weiß, Blau, Grün, Gelb, Rot, IR und UV bereitgestellt.

Als computersteuerbares Multi Segment LED-Ringlichtsystem in Stereomikroskopen oder in optischen Inspektions- und Prüfsystemen kann es so programmiert werden, dass Schrägbeleuchtungen als Misch- und regelbares Auflicht, frequenzsteuerbares Stroboskoplicht und Blitzlicht mit einstellbarer Leuchtdauer erzeugt werden.

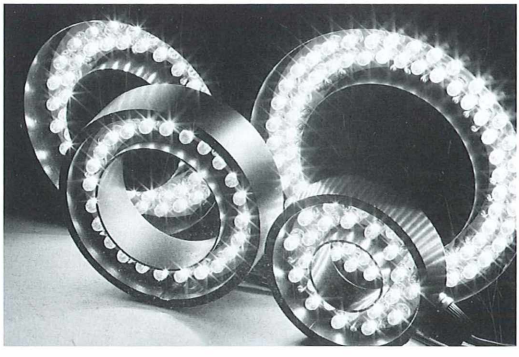


Abb. 1: Verschiedene Typen von LED-Ringleuchten der Firma optometron.

optometron Ansprechpartner:
Steven Wagner,
E-Mail: s.wagner@optometron.de,
Telefon: 089/90 60 41,
Fax: 089/90 60 44,
Internet: www.optometron.de

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Ein Tessovar auf Fliegenfang
Freilandaufnahmen mit der Zeiss-Zoom-Fotolupe

Erich Lüthje

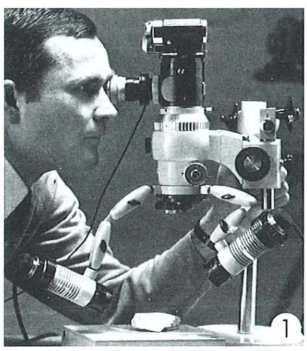
Eine „Kleine Mitteilung" im MIKROKOSMOS 59 (1970) ließ seinerzeit vermutlich manchem Leser das Wasser im Munde zusammenlaufen: Die Firma Carl Zeiss stellte ihr neues Tessovar in Wort und Bild vor (Abb. 1). Die kompakte Fotolupe sollte im Makrobereich speziell ausgerüstete Mikroskope ersetzen und mit ihrer Gummi-Linse die Abbildungsmaßstäbe von 0,8 : 1 bis 12,6 : 1 bei Kleinbildformat erfassen.

Als Student lernte ich dieses Gerät damals in einem Fotoseminar an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel kennen – traumhaft gut, sündhaft teuer; für einen Studenten wohl nur zur wehmütigen Erinnerung geschaffen. Inzwischen ist das Tessovar lange Historie. Die meisten Mikroskopiker besitzen heute eine Stereolupe. Zoomoptik ist gehobener Standard. Für anspruchsvollere Zunftgenossen bietet der Markt Geräte mit integriertem Kameraanschluss an. So mag es aus heutiger Sicht etwas verwundern, dass vor circa 35 Jahren ein aufwändiges Monosystem mit pankratischem Objektiv ausschließlich für die Makrofotografie entwickelt wurde.

Wiedersehen nach 35 Jahren

Als ein wohlmeinendes Mitglied der Elternschaft unserem Gymnasium unlängst ausrangiertes Labormaterial zur Verfügung stellte, befand sich darunter auch etwas, was der entgegennehmende Kollege kopfschüttelnd *als eine Art Handgranate mit Linsen* betitelte und mir zur Begutachtung überließ. Das silbergraue Überraschungsei erwies sich in- und aufschriftlich als Torso eines Tessovars von Carl Zeiss Germany. Vom einstmals bewunderten Universalgerät fehlte indes so gut wie alles: Kameraanschluss, Belichtungsmessung, Beobachtungssystem, Objektivrevolver mit Vorsatzobjektiven und leider auch das Stativ. Für Schülerhände und Schulzwecke war dieses Relikt also gänzlich ungeeignet – aber sollte das Wiedersehen damit schon beendet sein?

Nach einigem Probieren und Improvisieren gewann ich mit einem angeklebten 25-mm-Zwischenring den Kameraanschluss zurück. Ein umfunktioniertes Bohrerstativ ersetzt nunmehr die originale Vertikalaufhängung. Die angeschlossene Spiegelreflexkamera macht das fehlende Beobachtungssystem entbehrlich und übernimmt zugleich vollautomatisch die zuvor penibel zu ermittelnde Belichtung. Ohne Vorsatzobjektive erfasst die reaktivierte Zoomlupe jetzt einen Vergrößerungsbereich von 1,1 : 1 bis etwa 4,5 : 1.



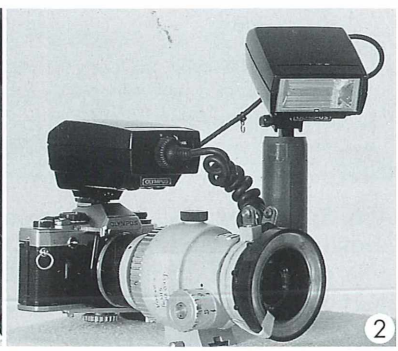


Abb. 1: Zeiss-Tessovar mit Zoom-Objektiv für kleine Vergrößerungsmaßstäbe, hier in Verbindung mit der Aufsetzkamera 24 × 36 mm (aus Zeiss, 1970a). – Abb. 2: Tessovar-Mittelteil mit angesetztem Ringblitz, Kamera und Seitenblitz für Freihandaufnahmen.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Freihand im Freiland

Besonders vielseitig wird das Universalgerät in Forschungsinstituten und Industriebetrieben eingesetzt (Zeiss, 1970a). Für den Gebrauch außerhalb des Labors war es sicherlich nicht konzipiert. Eben diese Möglichkeit habe ich – neben der Laborfotografie – ebenfalls realisiert. Dabei musste ich die gewichtige Pretiose (ca. 1850 g ohne Kamera) freihand erproben. Das Testfoto einer goldgelben Korbblüte im strahlenden Sonnenschein wurde ein unscharfes, verwackeltes Fiasko – mithin: Mehr Licht! Deshalb montierte ich am unteren Ende des Tessovars einen Ringblitz sowie einen seitlichen Zweitblitz an der Kamera (Abb. 2). Mit diesen zusätzlichen 1200 g wurde das sperrige Gesamtkunstwerk nicht gerade handlicher. Aber der Kraftaufwand lohnt sich: Im Kamerasucher bietet die mikrofotografische Einstellscheibe ein glasklares Bild. Ring- und Seitenblitz sorgen für eine weiche Ausleuchtung. Und vor allem: Ohne umständlichen Objektiv- oder Zwischenringwechsel wird der gewünschte Abbildungsmaßstab per Drehknopf festgelegt. Meistens benutze ich ein zusammengeklapptes Stativ als Einbein-Stütze. Überfallartige Schnappschüsse flüchtiger Insekten sind damit natürlich nicht möglich. Gelassenes Anpirschen und Fixieren lässt indes Aufnahmen von anderthalbfacher bis zwei-, ja dreifacher Vergrößerung gelingen. Freilich ist der Ausschuss groß (bei stärkerer Vergrößerung bis zu 90%). Denn trotz der Unterstützung schwankt die Kamera, und das Motiv tanzt beim leisesten Windhauch aus dem Millimeterbereich der Tiefenschärfe. Wenn es aber einmal geklappt hat, entschädigt das Ergebnis für alle Mühen.

Schwebfliegen im Sommergarten

Im schönen Spätsommer 2005 konnte ich mit meinem „Tessovar mobil" im Hausgarten etliche Freilandmakroaufnahmen machen. Vor allem die schmucken Schwebfliegen (Syrphiden) lockten zu immer neuer Fotopirsch. Als ich am Ende die Strecke legte, fand ich auf meinen Bildern immerhin 11 Arten aus dieser Familie. Ich bestimmte sie anhand der Dias nach Stubbs und Falk (1983). Die präzisen Abbildungen dieses Werkes erlaubten auch die nachträgliche Einschätzung des jeweiligen Aufnahmemaßstabs (denn beim Fotografieren konnte ich selbstverständlich keine Notizen machen). Es handelt sich um folgende Arten (die bei uns alle sehr häufig vorkommen):

Syrphinae, Blattlausfliegen

Syrphus ribesii (Abb. 3); wenig behaart, Stirn schwarz, über den Fühlern rostrot. Brust oben mit undeutlichen Längsstreifen und an den Seiten gelblich. Schildchen wachsgelb, Flügel bräunlich.
Scaeva pyrastri (= *Lasiopticus pyrastri*) (Abb. 4); im Gegensatz zu *Syrphus* mit stark aufgetriebener, dicht schwarz behaarter Stirn. Der Hinterleib trägt drei Paare weißgelber Mondflecken.
Episyrphus balteatus (= *Epistrophe b.*) (Abb. 5); ähnlich der Gattung *Syrphus*, jedoch mit umgeschlagenen Hinterleibsrändern. Gelbgrün oder dunkelgrün, glänzend, schlank. Gelbe Binden des 3. und 4. Hinterleibabschnittes durch schmale, schwarze Querlinien in zwei Binden geteilt.
Sphaerophoria scripta (Abb. 6); schmale, lang gestreckte Art, gelbe Seitenstreifen auf der Brust, matt hellgelbes Schildchen. Zeichnung des Hinterleibes sehr variabel.
Melanostoma mellinum (Abb. 7); klein, zart, metallisch grün-schwarz glänzend. 3. Fühlerglied braun.

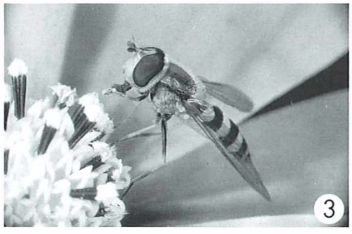


Abb. 3: *Syrphus ribesii* auf Cosmea (*Cosmos bipinnatus*). Mit dem Rüssel tupft die Fliege Pollenkörner von den Vorderbeinen ab. Originalvergrößerung 1,5fach, hier ca. 1,8fach. – Abb. 4: *Syrphus pyrastri* auf der Blauen Rasselblume (*Catananche coerulea*). Mit den Vorderbeinen umklammert das Insekt Narbe und Staubbeutel einer Randblüte. Originalvergrößerung 1,3fach, hier ca. 1,5fach.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www

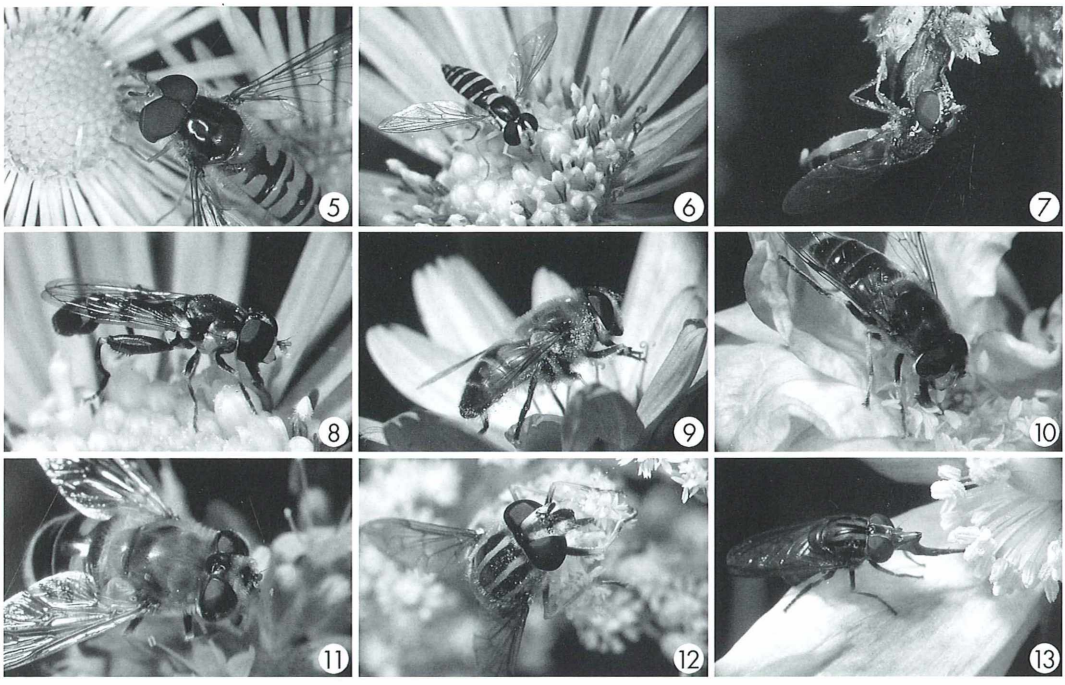


Abb. 5: *Episyrphus balteatus* auf Feinstrahl (*Erigeron annuus*). Der Rüssel tupft Pollen von den gelben Röhrenblüten auf. Originalvergrößerung 2,5fach, hier ca. 3,1fach. – Abb. 6: *Sphaerophoria scripta* auf Cosmea (*Cosmos bipinnatus*). In der Mitte dieses Blütenkörbchens sind die Röhrenblüten noch geschlossen, so dass der Rüssel hier keine Pollen findet. Originalvergrößerung 1,5fach, hier ca. 2,1fach. – Abb. 7: *Melanostoma mellinum* am gemeinem Dost (*Origanum vulgare*). Mit etwa 9 mm Länge die kleinste Schwebfliegenart dieser Bilderreihe. Originalvergrößerung 1,3fach, hier ca. 1,6fach. – Abb. 8: *Syritta pipiens* auf Cosmea (*Cosmos bipinnatus*). Die Art ist an den stark verdickten Hinterschenkeln mit Dörnchenbesatz gut zu erkennen – auch auf diesem Bild bei einer Originalvergrößerung von 2,6fach, hier ca. 3fach. – Abb. 9: *Eristalis tenax* auf der Blauen Rasselblume (*Catananche coerulea*). Die Vorderfüße greifen nach einem Griffel der Korbblüte; dazwischen ist der Rüssel zu erkennen. Die „Scheinbiene" wurde mit 1,4facher Vergrößerung fotografiert. Vergr. ca. 2fach. – Abb. 10: *Eristalis pertinax* tupft mit ihrem Rüssel den Staubbeutel einer Rosenblüte ab. Originalvergrößerung 1,5fach, hier ca. 1,8fach. – Abb. 11: *Eristalis nemorum* auf Tauben-Skabiose (*Scabiosa columbaria*). Bei der 2,9fachen Originalvergrößerung erkennt man die feine Behaarung der Augen auf dem Dia. Vergr. 3,3fach. – Abb. 12: *Helophilus pendulus* auf Goldrute (*Solidago canadensis*). Die Vorderbeine sind um eine Blüte gelegt, der Rüssel ist auf deren Staubbeutel gerichtet. 2,3fach. – Abb. 13: *Rhingia campestris* auf Scheinmohn (*Meconopsis cambrica*). Das schnabelförmig verlängerte Gesicht setzt sich auf dem Foto im ausgestreckten Rüssel fort, welcher nach einem Staubbeutel tastet. Originalvergrößerung 1,1fach, hier ca. 1,3fach.

Milesiinae

Syritta pipiens (Abb. 8); mittelgroß, schlank, fast unbehaart; Fühler rotgelb, hintere Schenkel auffällig verdickt.

Eristalinae, Schlammfliegen

Eristalis tenax (= *Eristalomyia tenax*) (Abb. 9); „Scheinbiene" mit Rattenschwanzlarve; überall gemein, durch den Menschen weltweit verbreitet. Fühlerborste nackt, Brust braun, mit goldgelber Behaarung und weißlichen Mittelstriemen, zweiter Hinterleibsring mit gelben Seitenflecken.

Eristalis pertinax (Abb. 10); behaarte Fühlerborste, sonst der „Scheinbiene" sehr ähnlich, aber Hinterleib lang kegelförmig.

Eristalis nemorum (= *E. horticola*) (Abb. 11); glänzend schwarze Gesichtsstrieme.

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Helophilus pendulus (= *Tubifera p.*) (Abb. 12); große, helle Art mit Längsstreifen auf der Brust und gelben Binden auf dem durchscheinenden Hinterleib. Schwarze Gesichtsstrieme.

Brachyopinae

Rhingia campestris (Abb. 13); plump, mit schnabelförmig vorgezogenem Gesicht; kurzer, rostroter Hinterleib mit dunklen Linien.

Literaturhinweise

Sack, P.: Schwebfliegen oder Syrphidae. In: Dahl, F. (Hrsg.): Die Tierwelt Deutschlands. 20. Teil, Verlag Gustav Fischer, Jena 1930.
Stubbs, A. E., Falk, St. J.: British hoverflies. British Entomological & Natural History Society, London 1983.
Zeiss, Firma Carl: ZEISS-Tessovar mit Zoom-Objektiv. Zeiss-Information. Mikrokosmos *59*, 32 (1970a).
Zeiss, Firma Carl: Lupenaufnahmegerät Tessovar, Gebrauchsanleitung. Oberkochen 1970b.

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

Kurze Mitteilung

Atomare Grenzflächen

Die Weiterentwicklung der Elektronenmikroskopie hat zu Punktauflösungsvermögen geführt, die früher undenkbar waren. So erreicht die Elektronenmikroskopie die atomaren Dimensionen. Mit Hilfe der Volkswagenstiftung wurde seit 1989 ein Schwerpunkt „Mikrocharakterisierung von Werkstoffen und Bauelementen" eingerichtet, der sich auf die Neu- und Weiterentwicklung von Methoden auf dem wichtigen Gebiet der Materialforschung richtet. So konnte ein Elektronenmikroskop entwickelt werden, das ein Punktauflösungsvermögen von 1,75 Ångström (0,175 nm) erreicht. Das heißt: Zwei Punkte, die etwa den sechsten Teil eines Millionstel Millimeters voneinander entfernt sind, lassen sich bei der zweimillionenfachen Vergrößerung des Mikroskopes noch als getrennte Objekte abbilden. Damit können Strukturen aufgelöst werden, die im Bereich der Atomabstände eines Kristallgitters liegen.

Als Objekte werden Scheibchen von 3 mm Durchmesser benutzt, die so lange mit Ionen beschossen werden, bis in der Mitte ein Loch entsteht. An den Rändern dieses Loches besitzt die Probe nur noch eine Dicke von 100 Ångström (0,01 Mikrometer), sodass diese vom Elektronenstrahl des Transmissionselektronenmikroskops durchstrahlt werden kann. Als Beispiel für das extreme Auflösungsvermögen dient eine Abbildung des Gitters einer Grenzfläche zwischen Silber und Zinkoxid (Abb. 1).

Das Supermikroskop steht im Max-Planck-Institut für Metallforschung, wurde von der japanischen Firma Jeol (Typ JEM 4000EX) geliefert und arbeitet mit einer Beschleunigungsspannung von 400 kV.

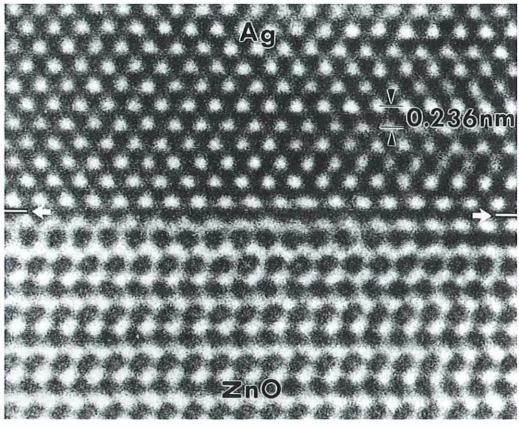


Abb. 1: Elektronenmikroskopische Gitterabbildung einer Grenzfläche zwischen Silber und Zinkoxid (Markierungen an den beiden Seiten des Fotos). Die Grenzflächen zwischen Metallen und Oxiden sind atomar eben und stellen daher ideale Objekte für die hochauflösende Elektronenmikroskopie dar. An den durchstrahlten, dünnen Flächen an den Rändern der beiden Materialien kann das atomare Gitter sichtbar gemacht werden. Die Atomsäulen des Silbers (Ag, oben) und des Zinkoxids (Zno, unten) sind als dunkle Punkte sichtbar, die zwischenatomaren Bereiche (Kanäle) sind als helle Kontrastpunkte abgebildet. Mit Hilfe von Computersimulationen kann man Aussagen über den atomaren Aufbau und die chemische Zusammensetzung der Grenzfläche machen. (Foto: MPI für Metallforschung)

H. F. Linskens, Nijmegen

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Zur Morphologie und Biologie von Hypogastrura socialis (Insecta, Collembola)

Hans-Jürgen Schulz

Massenansammlungen von Springschwänzen (Collembolen) auf Schnee gaben ihnen in der Vergangenheit den Namen „Schneeflöhe". *Hypogastrura socialis* ist eine Collembolen-Art, die durch derartige Ansammlungen bekannt geworden ist. So ist sie zum Beispiel in Österreich der häufigste Verursacher von schwarzem Schnee – *die einzige Collembolen-Art, die regelmäßig, wenngleich meist anonym, in den Massenmedien erscheint* (Christian und Meyer, 1997).

Derzeit sind etwa 7.000 Collembolen-Arten weltweit beschrieben. In aktuellen europäischen Checklisten werden jeweils mehr als 400 Arten aufgezählt. Aufgrund ihrer enormen Siedlungsdichte haben die Collembolen einen hohen Anteil am Abbau der organischen Substanz und der Humusbildung im Boden. Hinsichtlich ihrer Lebensweise werden drei Lebensformen unterschieden: Bewohner der Bodenoberfläche beziehungsweise der Vegetation (epedaphische Arten), Bewohner geschützter Habitate in Strukturen der Bodenoberfläche (hemiedaphische Arten) und Bewohner der Kleinhöhlen des Bodens (euedaphische Arten) (Dunger, 2003). *Hypogastrura socialis* ist eine hemiedaphische Art.

Methoden und Beschreibung der Fundstelle

Die elektronenmikroskopischen Aufnahmen (Abb. 1–7) stammen von Exemplaren, die Gerd Schumann (Potsdam) im Februar 2005 aufsammelte. Alle Exemplare wurden in einer aufsteigenden Alkoholreihe entwässert. Anschließend erfolgte die Kritische-Punkt-Trocknung und das Bedampfen mit Gold-Palladium. Die Bilder wurden mittels einer DSM 940 Anlage angefertigt, die mit einer Bildbearbeitungssoftware ausgestattet ist.

Herr Schumann beobachtete zufällig ein Massenvorkommen von *Hypogastrura socialis* in einem 30–40 jährigen Kiefernstangenholz bei Michendorf (10 km südlich von Potsdam). Die Schneehöhe in dem Waldabschnitt betrug etwa 8–10 cm (beginnende Tauphase, etwa 1 °C). Zwei bis drei Hektar Waldboden waren nahezu gleichmäßig von Exemplaren der obigen Art bedeckt (bis zu vier Exemplare/cm^2).

Vorkommen von Hypogastrura socialis

Hypogastrura socialis ist eine charakteristische Art der Nadelwaldstreu innerhalb der Paläarktis. In Europa hat sie ihren Verbreitungsschwerpunkt wohl in den skandinavischen Ländern. Aus Deutschland ist sie vor allen Dingen aus Bergregionen bekannt [u.a. Oberer Bayrischer Wald (Zernecke, 1999), Vogelsberg in Hessen (Böhle, 1991), Neißetal bei Görlitz (Dunger, 1972)]. Somit stellt der Fundort bei Michendorf eine gewisse Besonderheit dar.

Charakteristik der Art

Hypogastrura socialis wird bis zu 1,5 mm groß und ist blauschwarz pigmentiert (Fjellberg, 1998). Sie hat acht Ommatidien (Abb. 1). Das Postantennalorgan, das auf Grund seines Feinbaus, der Lage und der Innervierung ein Tömösvary'sches Organ ist (Dunger, 2003), hat Ommatidiengröße und besteht aus vier regelmäßigen Lappen (Abb. 2). Es hat vermutlich eine hygrische (auf Feuchtigkeit bezogene) Funktion. Die Analdornen sind kurz, gerade und stehen auf niedrigen Papillen (Abb. 3). Charakteristisch für die Art sind insbesondere die 10–12 verdickten und leicht gebogenen Sensillen auf dem vierten Antennensegment (Abb. 4 und 5). Dadurch ist sie, laut Fjellberg (1998), innerhalb der Vielzahl von *Hypogastrura*-Arten leicht bestimmbar. Weiterhin

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

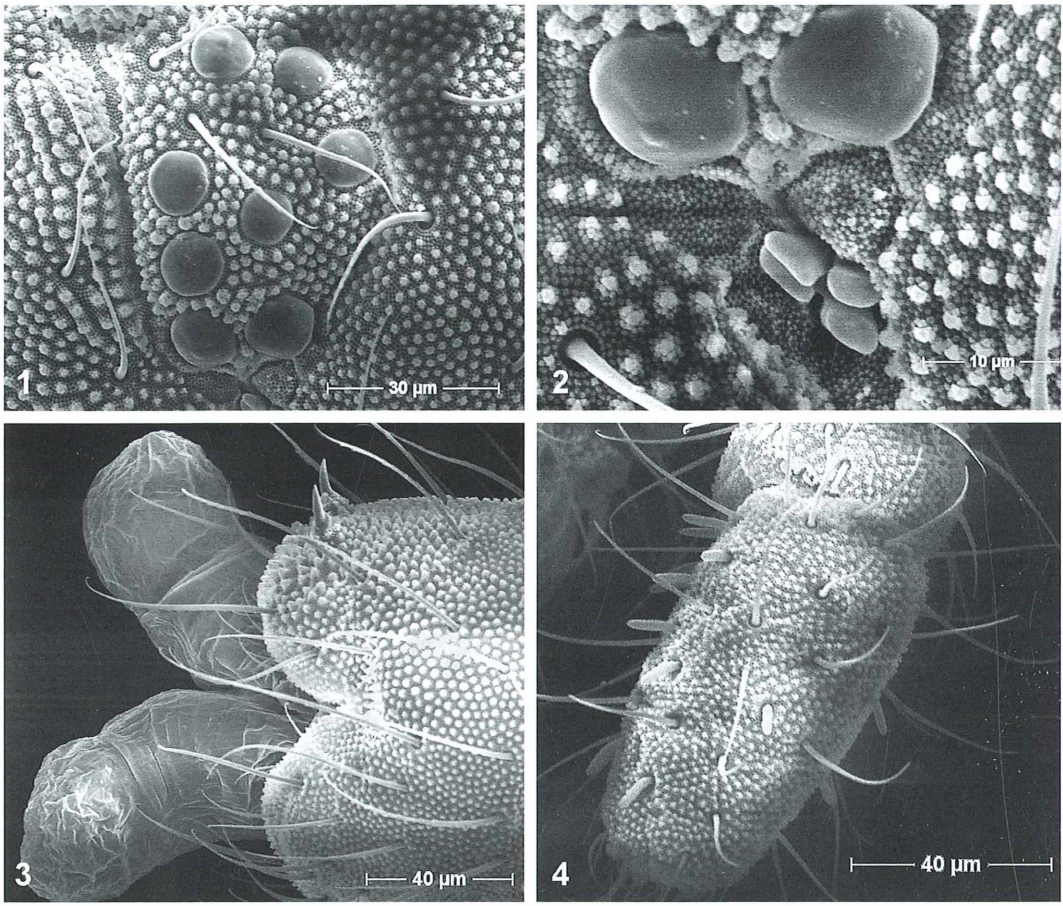
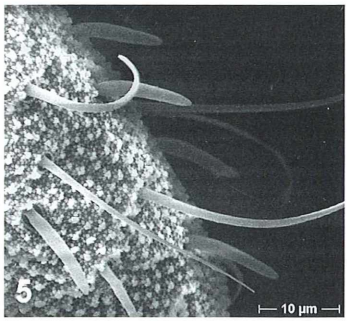
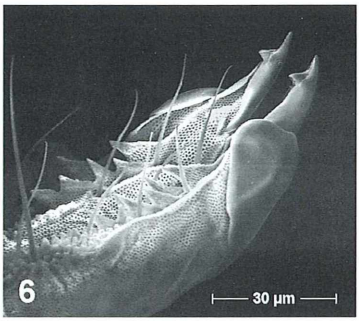


Abb. 1: Ommatidienfeld mit der für die Gattung normalen Anzahl von acht Ommatidien pro Kopfseite. – Abb. 2: Postantennalorgan mit vier regelmäßigen Lappen (unter den zwei vorderen Ommatidien). – Abb. 3: Analsegment mit Analdornen und ausgestülpten Analschläuchen (Seitenansicht). – Abb. 4: Antennensegment 4 mit 12 verdickten Sensillen.

sind es die starken Dornen oder Zähne auf der dorsalen Seite der beiden Dentes (Gabeläste der Sprunggabel) und die kräftig ausgebildeten hyalinen Flächen auf deren ventro-apikalen Seiten bei der Wintermorphe (Abb. 6). Denn diese *Hypogastrura*-Art ist durch jahreszeitlich unterschiedliche Morphen gekennzeichnet (Zyklomorphose). Die Unterschiede beider Morphen werden weiter unten mitgeteilt.

Leinaas (1981) fand in einer dreijährigen Studie heraus, dass die Art einen einjährigen Lebenszyklus aufweist – sie wird im Frühjahr adult und vermehrt sich dann (Eiablage). Die neue Generation erscheint synchron Mitte Juni. Im Winter bewegen sich die ausgewachsenen Jungtiere durch den Schnee aufwärts (die Distanz ist temperaturabhängig). Bei Tauwetter erscheinen sie auf der Schneeoberfläche und breiten sich darauf aus. Die Sommerform ist auf kleinen Flächen dicht aggregiert (beispielweise unter Nadelbäumen mit ihrer dicken Streuauflage; Hågvar, 1995) und besitzt im Gegensatz zur Winterform eine feinere Hautgranulation der Dorsalseiten des Dentes (auch deren Dornen und die hyaline Fläche sind kleiner; Fjellberg, 1998). Der Wechsel von der Sommer- zur Winterform geschieht während einer Häutung Ende September oder im Oktober (Leinaas, 1981). Die kräftiger ausgebildete Sprunggabel – unter anderem mit den Dornen auf den





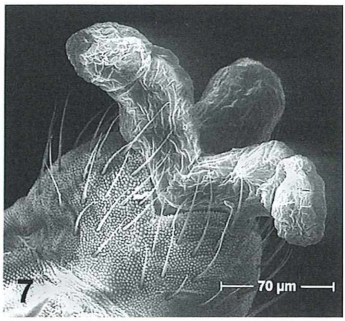


Abb. 5: Antennensegment 4 mit sechs verdickten und leicht gebogenen Sensillen. – Abb. 6: Dentes mit dorsalen Dornen und hyaliner Fläche (ventro-lateral). – Abb. 7: Ventralansicht der drei ausgestülpten Analschläuche.

Dentes (Abb. 6) – stellt eine Anpassung an ein besseres Springen auf dem rutschigen Schnee dar (Leinaas, 1981).

Wanderungen

Das Massenvorkommen auf Schnee hat eine migratorische Funktion. Es dient einerseits dem Erreichen von schneefreien Flächen unter Bäumen, wo die Reproduktion frühzeitig beginnen kann, und andererseits dazu, um Hindernisse/Barrieren in der Landschaft zu überwinden (zum Beispiel Flüsse, Seen). Wanderungen werden natürlich auch unternommen, um an neue Nahrungsquellen zu gelangen. Hierbei können sich die Tiere über lange Distanzen bewegen [200–300 m pro Tag (Hågvar, 1995)]. Der Autor konnte bei einer Population eine durchschnittliche Sprungweite einzelner Exemplare von 10 cm registrieren, wobei acht Sprünge pro Minute ausgeführt wurden. Die Tiere orientieren sich bei diesen Wanderungen nach der Sonne, dem Polarisationsmuster des Himmels und an größeren Strukturen im Gelände wie beispielsweise Bäumen. Bei diesen langen Wanderungen ist natürlich die kräftig gebaute Sprunggabel der Wintermorphe unerlässlich. Weitere während der Wanderungen wichtige Körperstrukturen wurden von Leinaas (1988) entdeckt, die so genannten anal sacs (ausstülpbare Analschläuche). Es handelt sich um drei gekrümmte Schläuche, zwei ventrolateral und einer dorsal ausgerichtet (Abb. 3 und 7). Diese werden vor dem Absprung ausgepresst und fungieren als eine Art Ankervorrichtung. Sie erleichtern bei der Landung das Haftenbleiben und Wiederaufrichten (Zernecke, 1999).

Literaturhinweise

Böhle, W.: Die Collembolenfauna des Vogelsberges. Hessische Faunistische Briefe *11*, 35–56 (1991).

Christian, E., Meyer, E.: Ein spektakuläres Massenauftreten von Springschwänzen in Tirol, Österreich. Ber. nat.-med. Verein Innsbruck *84*, 315–320 (1997).

Dunger, W.: Systematische und ökologische Studien an der Apterygotenfauna des Neißetales bei Ostritz/Oberlausitz. Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseum Görlitz *47*, 1–43 (1972).

Dunger, W.: Ordnung Collembola, Springschwänze. In: Dathe, H. H. (Hrsg.): Lehrbuch der Speziellen Zoologie, Wirbellose Tiere, 5. Teil: Insecta, S. 71–86. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2003.

Fjellberg, A.: The Collembola of Fennoscandia and Denmark, Part I: Poduromorpha. Fauna Entomologica Scandinavica *35*, 1–183 (1998).

Hågvar, S.: Long distance, directional migration on snow in a forest collembolan, *Hypogastrura socialis* (Uzel). Acta Zool. Fennica *196*, 200–205 (1995).

Leinaas, H. P.: Cyclomorphosis in the furca of the winter active Collembola *Hypogastrura socialis* (Uzel). Entomologica Scandinavica *12*, 35–38 (1981).

Leinaas, H. P.: Anal sacs – an unknown organ in Poduromorpha (Collembola). Zoologica Scripta *17*, 277–284 (1988).

Zernecke, R.: Streifenförmige Wanderzüge von *Hypogastrura socialis* (Uzel). Mitt. Münch. Ent. Ges. *89*, 95–117 (1999).

Verfasser: Dr. Hans-Jürgen Schulz, Staatliches Museum für Naturkunde Görlitz, Postfach 300154, 02806 Görlitz

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Eine neue und einfache Methode zur polychromatischen Anfärbung von Paraffinschnitten pflanzlicher Gewebe für Durchlicht- und Fluoreszenzmikroskopie

Robin Wacker

Es wird eine einfache, aber reizvoll bunte Färbemethode für Paraffinschnitte pflanzlichen Materials vorgestellt. Sie eignet sich hervorragend zur Darstellung der anatomischen Strukturen und ermöglicht exzellente mikroskopische Untersuchungen bei guter Differenzierung. Gelegentlich kann diese Färbung auch in der Tierpathologie angewendet werden, um pflanzliches Material, das auf die eine oder andere Weise in tierisches Gewebe eingeschlossen wurde, genauer untersuchen zu können.

Das Einbetten von Pflanzengeweben in Paraffinwachs wurde in den letzten Jahrzehnten ziemlich vernachlässigt. Obwohl bei dieser Methode der Einbettungsprozess relativ zeitaufwändig ist, bietet sie doch deutliche Vorteile gegenüber den Hand- oder Gefrierschnittmethoden. Dies gilt besonders bei der Untersuchung von weichem oder leicht zerfallendem Gewebe, bei Dünnschnitten bis herunter zu 2 bis 3 µm, bei Serienschnitten oder bei der Herstellung einer größeren Anzahl gleichartiger Schnitte für Lehrzwecke. Hand- und Gefrierschnitte werden vor allem von Studenten hergestellt, sind aber oft unregelmäßig dick, ungefärbt und meist nicht als Dauerpräparate konzipiert. Wenn eine Färbung gewünscht wird, hat sich die Etzold-Färbung (Etzold, 1983) gut bewährt.

Sowohl in Paraffinblöcken eingebettetes Gewebe als auch ungefärbte Schnitte davon, die auf Objektträger aufgezogen wurden, lassen sich viele Jahre lang ohne Schädigung aufbewahren und können dann geschnitten beziehungsweise gefärbt werden. Ein Vorteil ist auch, dass mehrere Schnitte gleichzeitig gefärbt werden können, oder bereits geschnittene, ungefärbte Präparate an Studenten zum Entparaffinieren und Färben weitergegeben werden können.

In der Praxis erwiesen sich 5 bis 8 µm, oft auch bis zu 12 µm dicke Schnitte als geeignet, um eine brillante Färbung mit klarer Darstellung der Strukturen zu erhalten. In meiner Laborpraxis nenne ich diese Methode W-3A, abgeleitet von den drei Farbstoffen Acridinrot, Acriflavin und Astrablau. Ich hoffe, dass meine neu entwickelte Färbemethode die botanische Histologie für Amateure und Studenten, aber auch für Spezialisten attraktiver macht. Eingedeckte Dauerpräparate, die mit dieser Färbemethode hergestellt wurden, sind äußerst haltbar und bleichen nicht aus. Ich besitze W-3A-Präparate, die 24 Jahre nach ihrer Herstellung noch nichts von ihrer Farbigkeit verloren haben, und auch die Färbelösungen selbst sind sehr lange haltbar.

Material und Methoden

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte der W-3A-Färbung detailliert beschrieben.

1. Nach dem Entparaffinieren über die übliche Xylol-Alkoholreihe werden die 6 bis 12 µm dicken Schnitte, die auf Objektträgern aufgezogen sind, in 50% Ethanol überführt.
2. Die Schnitte werden in einer Lösung von 1% wässrigem Acridinrot 3B (color index 45000) in 50% Ethanol und 2% Essigsäure für 5 bis 15 Minuten (oder länger, siehe Anmerkung 4) angefärbt und anschließend 15 Sekunden lang mit destilliertem Wasser ausgewaschen.
3. Es folgt eine Färbung in 1% wässrigem Acriflavin (color index 46000) in 2% Essigsäure für 5 bis 15 Sekunden (siehe Anmerkung 2). Anschließend wird 5 Sekunden mit (destilliertem) Wasser gewaschen.

4. Der dritte Färbeschritt erfolgt in einer Lösung von 2% wässrigem Astrablau (color index 48048) in 2% Essigsäure für 30 bis 180 Sekunden (oder länger, siehe Anmerkung 2). Für 10 bis 20 Sekunden wird dann mit destilliertem Wasser gewaschen, bis keine Farbstoffreste mehr auf dem Objektträger verbleiben. Auf dem Objektträger haftende Wassertropfen werden abgeschüttelt.
5. Nun folgt mit dreimaligem Wechsel die Dehydrierung mit Triethylphosphat [$(C_2H_5O)_3$-PO] für jeweils 5 Sekunden.
6. Xylol (2 bis 3 Mal wechseln) dient zum Aufhellen, danach wird das Färbeergebnis unter dem Mikroskop kontrolliert (siehe Anmerkung 1).
7. Zum Eindecken mit einem Deckglas wird ein nicht fluoreszierendes, synthetisches Eindeckmittel verwendet.

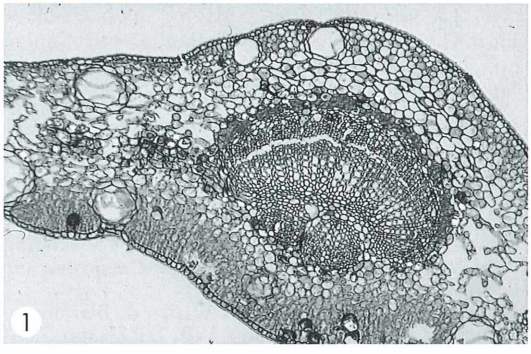
Anmerkungen

Um eine optimale Färbung zu erzielen, sollten die nachfolgenden Hinweise berücksichtigt werden:

1. Bei nicht zufrieden stellender Färbung ist eine Nachfärbung mit veränderten Einwirkzeiten möglich, nachdem man das Intermedium mit Alkohol entfernt hat.
2. Ist die Rotfärbung zu schwach ausgefallen, muss die Färbezeit mit Acriflavin verkürzt oder die mit Acridinrot verlängert werden. Ist die Blau/Grün-Färbung zu schwach, verlängert man die Färbezeit mit Astrablau.
3. Triethylphosphat wird verwendet, da n-Butanol und Isopropanol und – noch stärker – Ethanol die Rotfärbung entfernt.
4. Frisch angesetzte Acridinrot-Lösungen färben oft schwächer als alte, dunkelrot gewordene Lösungen.
5. Acridinrot wird in der botanischen Histologie schon seit 44 Jahren und in der Humanhistologie seit über 60 Jahren verwendet, aber es war nie weit verbreitet, da Safranin und Neu-Fuchsin beste Färbeergebnisse brachten. Anstelle von Acridinrot kann man auch Rhodamin B (color index 45170) verwenden. Es liefert ähnliche Ergebnisse, und die Färbung hieße dann RAA oder R2A.
6. Ein Spritzer Formalin in der Astrablau-Lösung hilft gegen möglichen Pilzbefall.
7. Es wird empfohlen, die Färbelösungen in regelmäßigen Abständen zu filtern.

Schönste Färbungen resultieren, wenn zum Astrablau eine kleine Menge Acriflavin hinzu pipettiert wird. Auf diese Weise färbt sich Zellulose blaugrün. Falls gewünscht, kann die Reihenfolge der Färbeschritte verändert werden, zum Beispiel (1) Astrablau – (2) Acridinrot – (3) Acriflavin. Auch kann die Essigsäurezugabe und die Dehydrierung entfallen; stattdessen werden dann die Präparate nach dem Färben getrocknet und danach über Xylol eingedeckt. Ich bevorzuge allerdings die oben beschriebene Methode.

Farbstoffe von verschiedenen Herstellern oder aus verschiedenen Chargen können unterschiedliche Färbeergebnisse liefern. Daher sollte man damit rechnen, die geschilderte Färbemethode entsprechend modifizieren zu müssen. Dies gilt



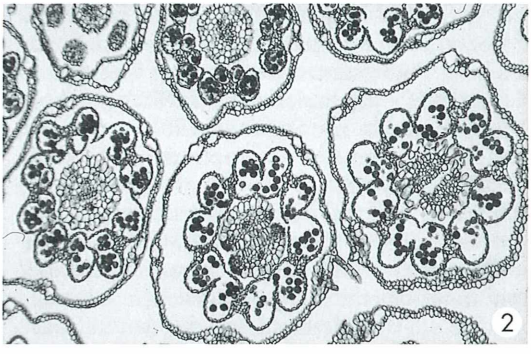


Abb. 1 und 2: Mit der W-3A-Methode (Astrablau – Acridinrot – Acriflavin) gefärbte Paraffinschnitte von Pflanzenmaterial. – Abb. 1: Oleander-Blatt im Querschnitt. – Abb. 2: Blütenquerschnitt eines Gänseblümchens.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

prinzipiell für alle Färbemethoden, aber natürlich besonders für solche, bei denen mehrere Farbstoffe eingesetzt werden.

Ergebnisse

Auf der Titelseite dieses Heftes wird ein 8 µm dicker Querschnitt durch ein Blatt von *Casuarina equisetifolia* gezeigt (Objektiv: Leica Plan-Fluotar 25/0,6, Okular: Periplan GF 12,5/20 Br, dessen Augenmuschel-Gewinde in das genau passende Filtergewinde der Nikon Coolpix 4050 geschraubt wurde. Bildbreite und -höhe betragen jeweils 600 Mikrometer). Die Zellwände lebender Zellen des Palisadenparenchyms sowie des Parenchyms des Leitbündelringes sind blaugrün bis grün gefärbt, während verholzte Wände der im Zentrum kreisförmig angeordneten Xylemelemente eine leuchtend rote Färbung aufweisen. Orangerot färben sich Zellwände der direkt unter der Epidermis liegenden Hypodermis an, während die innerste tangentiale Zellwand der Hypodermis eine tiefrote Färbung zeigt, ebenso wie die Zellkerne. Suberinisierte Zellwände sowie Cutin-Auflagerungen auf Epidermiszellen zeigen eine hellrosa Färbung (Abb. 1 und 2). In den tiefen Einbuchtungen (Krypten) sind angeschnittene Haare zu erkennen, und aus den Epidermiszellen stülpen sich Papillen aus. Hier befinden sich ebenfalls die Spaltöffnungen (Stomata). Sie sind de Cordemoy (1923) zufolge längs getroffen und deswegen nur schwer zu identifizieren. Bei dem massiv rot gefärbten Gewebe zwischen Palisadenparenchym und Leitbündelring handelt es sich nach Napp-Zinn (1973) um ein Transfusionsgewebe.

Die geschilderte neue Färbemethode liefert klare, farbige Präparate, die hervorragend für Fotografie und Lehrzwecke geeignet sind und auch im Fluoreszenzmikroskop oft interessante Farbeffekte ergeben. Ich habe die Färbemethode W-3A erstmals im Sommer 1981 angewandt und seitdem immer wieder optimiert. Mit W-3A gefärbte Präparate werden von vielen marktführenden Mikroskopherstellern gerne genutzt, um die optische Qualität ihrer Geräte zu demonstrieren. Nach einer langen Testperiode mit unterschiedlichsten pflanzlichen Objekten möchte ich die Methode nun für den allgemeinen Gebrauch vorstellen. Damit bin ich auch gegen die Androhung eines guten Mikroskopiker-Freundes gefeit, der mich in einen Sumpf werfen und dem Schicksal einer Moorleiche überlassen wollte, sollte ich diese Färbemethode nicht endlich publizieren.

Dank

Folgenden Personen danke ich herzlich für Unterstützung, Ermutigung und Hilfe bei der Auswahl von Objekten, der fotografischen Technik und für die Erstellung dieses Artikels: Herrn Dr. habil. Rainer Wolf (Biozentrum der Universität Würzburg) und seiner Frau Dorle Wolf, Herrn Prof. Dr. Wolfram Hartung (Lehrstuhl Botanik I der Universität Würzburg), Herrn Prof. Dr. Manfred Schartl (Biozentrum der Universität Würzburg), Frau Jo Wakelin, Frau Barbara Steigerwald und Frau Monika Niklaus-Ruiz.

Literaturhinweise

Außer den oben zitierten Arbeiten von de Cordemoy, Etzold und Napp-Zinn werden den Interessenten weitere Publikationen empfohlen:

Biological Stain Commission (ed.): Staining procedures used by the Biological Stain Commission. University of Rochester, Medical Center Rochester. The Williams and Wilkins Company, Baltimore 1965.

Chroma-Gesellschaft Schmid & Co.: Ausgewählte Färbemethoden für Botanik und parasitologische Zoologie. Stuttgart 1962.

Conn's H. J.: Biological Stains, 7th ed. Williams and Wilkins Company, reprinted by Sigma Chemical Company, as 2nd ed., St. Louis, 1991.

de Cordemoy, M. J.: Contribution a l'étude de la morphologie, de l'anatomie comparée de la phylogénie et de la biogeography des Casuarinacées. Revue Generale de Botanique *35*, 71–91 (1923).

Etzold, H.: Eine kontrastreiche, simultane Mehrfachfärbung für pflanzenanatomische Präparate. Mikrokosmos *72*, 213–19 (1983).

Filutowicz, A., Kuzdowicz, A.: Mikrotechnika Roslinna. Panstwowe Wydawnictwo Rolnicze I. Lesne, Warszawa 1951.

Gerlach, D.: Botanische Mikrotechnik. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1969.

Gurr, G.: Biological Staining Methods, 7th ed. George T. Gurr Ltd., pp. 136–144, London 1963.

Gurr, E.: Biological Staining Methods, 8th ed. Searle Diagnostic Gurr Products, High Wycombe Buckinghamshire, England 1973.

Johansen, D. A.: Plant Microtechnique. McGraw Hill, London 1940.

Krauter, D.: Toesers Astrablau-Fuchsin Färbung. Mikrokosmos *65*, 149 (1976).

Maácz, G. T., Vágás, E.: A new method for staining of cellulose and lignified cell walls. Mikroskopie *16*, 40–43 (1961).

Napp-Zinn, K.: Anatomie des Blattes II. Blattanatomie der Angiospermen Band VIII, Teil 2A, pp. 757–758, Gebr. Borntraeger, Stuttgart 1973.

Verfasser: Robin J. G. Wacker (F.G.A., F.I.M.L.S), Physiologische Chemie I, Biozentrum der Universität Würzburg, Am Hubland, 97074 Würzburg

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Mikroskopischer Einblick in die Formenvielfalt magmatischer Kristalle am Beispiel des akzessorischen Zirkons

Robert Sturm

Wie in vergangenen Beiträgen bereits kurz angedeutet werden konnte, handelt es sich bei Zirkon um ein magmatisches Mineral, dessen Wachstum in erheblichem Maße von den chemischen und physikalischen Eigenschaften der umgebenden Schmelze bestimmt wird. Den wohl wichtigsten externen Faktor in Bezug auf das Kristallwachstum stellt ohne Zweifel der Magmenchemismus dar, welcher je nach Bildungsort des Wirtsgesteins durch signifikante Unterschiede die Haupt- und Spurenelementkonzentrationen betreffend gekennzeichnet sein kann. Je nachdem, ob das Magma seinen Ursprung in der Erdkruste oder im Erdmantel besitzt, treten manche Haupt- und Spurenelemente in ihrer Konzentration hervor, während andere in ihrer Bedeutung zurückgedrängt werden. Akzessorischer Zirkon reagiert mit seiner Morphologie sehr empfindlich auf diese chemischen Veränderungen und kann dementsprechend auch zur Gesteinsklassifikation herangezogen werden. Im vorliegenden Beitrag soll die Formenvielfalt von Zirkon näher erläutert und anhand ausgewählter Beispiele dargestellt werden.

Magmatische Minerale und deren zum Teil beachtliche Formenvielfalt sind in den letzten Jahrzehnten vermehrt in den Blickpunkt des geowissenschaftlichen Interesses getreten, da man ihre Bedeutung als petrogenetische Indikatoren – eine bestimmte Kristallform weist auf einen spezifischen Bildungsort des Wirtsgesteines hin – und nicht zuletzt auch als Geothermometer (Wie heiß war das Magma, aus welchem die Kristalle gewachsen sind?) mit Hilfe von empirischen und experimentellen Studien zu erkennen vermochte. Besonderes Augenmerk wurde dabei dem Mineral Zirkon geschenkt, welches dem Forscher zahlreiche Vorzüge wie beispielsweise sein ubiquitäres Auftreten (d.h. in Magmatiten, Metamorphiten und Sedimentgesteinen) und seine hohe Resistenz gegenüber jeglichen Verwitterungsprozessen bietet und zudem von einer in der Natur eher selten zu findenden morphologischen Vielfalt gekennzeichnet ist. Mancher Zirkonforscher sucht geradezu nach stark angewittertem Gestein, um den Zirkon besser daraus extrahieren zu können.

Formenvielfalt von Zirkon

Forschungen in Bezug auf die Formenvielfalt von akzessorischem Zirkon starteten in den 1950ern, als erstmals eine auf lichtmikroskopischen Untersuchungen basierende morphologische Klassifikation des Minerals gelang (Poldervaart, 1956; Larsen und Poldervaart, 1957), jedoch noch keineswegs Kenntnis darüber bestand, wie das Wachstum einzelner Kristalle im Detail abläuft. Man ging ursprünglich einfach davon aus, dass der Wachstumsverlauf durch regelmäßige Anlagerung konzentrischer Wachstumsschalen erfolge und demnach eine initiale Kristallform im Zuge dieses Prozesses nicht mehr verändert werden würde. In den 1960ern wurde diese Theorie vom statischen Kristallwachstum durch sukzessive Verbesserung der lichtmikroskopischen Methodik wieder verworfen und nun im krassen Gegensatz zur bisher gültigen Meinung ein variabler Wachstumsprozess von Zirkon mit voneinander unabhängigen Anfangs- und Endformen postuliert (Frasl, 1963; Hoppe, 1963). Die statistische Beschreibung der Formenvielfalt von akzessorischem Zirkon innerhalb ein und desselben Wirtsgesteins geht auf die mittlerweile bereits legendären Veröffentlichungen von Pupin und Mitarbeitern aus den 1970ern zurück (z.B. Pupin und Turco, 1972). Die Forscher konnten mittels aufwändiger lichtmikroskopischer Auszählverfahren die im Zuge der Evolution einzelner Zirkonkristalle zumeist eintretende

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Formveränderung bestätigen und entwickelten auf der Basis ihrer Erkenntnisse sowohl ein alle bisher bekannten Kristallmorphologien enthaltendes Diagramm – das Typologiediagramm – als auch ein simples Berechnungsschema zur Ermittlung des so genannten Typologischen Evolutiven Trends (TET), der den bereits angesprochenen Wachstumsverlauf einzelner Zirkonkristalle auf statistischer Ebene beschreibt. In den 1990ern wurden die lichtmikroskopischen Analyseverfahren fortwährend durch technisch kostspieligere Methoden – unter ihnen beispielsweise die Kathodolumineszenz oder Elektronenmikroskopie – abgelöst. Mit der Hilfe von speziellen Kristallschnittverfahren, welche bereits in früheren Beiträgen ausführlich vorgestellt wurden (Sturm, 2004, 2005), konnte ein direkter Einblick in den Wachstumsverlauf von Zirkon genommen werden. Die Anwendung zeitgemäßer Untersuchungsmethoden führte nicht nur zu einer weitgehenden Bestätigung der 30 Jahre zuvor aufgestellten Theorien über das Zirkonwachstum, sondern erbrachte sogar den Beweis dafür, dass die Formgebung von akzessorischem Zirkon auf einem zum Teil hoch komplexen Wechselspiel des Wachstums der einzelnen Flächen (Prismen und Pyramiden) basiert. Zukünftige Forschungsziele beinhalten die Entzifferung all jener chemischen und physikalischen Faktoren, welche signifikanten Einfluss auf das Kristallwachstum ausüben – hier ist man im Grunde erst am Anfang der Bemühungen. Die Schnitttechniken gelangen außerdem für Altersdatierungen mit der Ionenmikrosonde (SHRIMP) vermehrt zum Einsatz, da mit ihrer Hilfe jüngere Wachstumszonen einzelner Zirkonkörner von eventuellen älteren Kernbereichen unterschieden werden können (Sturm, 2005).

Das Typologieschema zur Darstellung der Formenvielfalt von akzessorischem Zirkon

Wie bereits einleitend erwähnt wurde, stellt das von französischen Kristallingeologen entwickelte Typologiediagramm ein wesentliches Hilfsmittel zur Klassifikation der Zirkonmorphologie – hier hat sich auch der Begriff der Zirkontypologie eingebürgert – dar. Darüber hinaus gibt das Diagramm indirekt auch Auskunft über diverse Eigenschaften des Wirtsgesteins, allen voran über seinen Chemismus und die Provenienz seiner Genese. Darüber soll im nachfolgenden zentralen Kapitel der Arbeit ausführlich die Rede sein.

Wenn man sich nun den Aufbau des Typologiediagrammes, dessen Verständnis für die nachfolgenden Ausführungen von großer Bedeutung ist, vergegenwärtigen möchte, so enthält dieses insgesamt 64 Kristalltypologien, welche sich aus der verschiedenartigen Kombination von fünf Formen, nämlich den Prismen {100} und {110} sowie den Pyramiden {101}, {211} und {311} zusammensetzen (Abb. 1). Die oberste Zeile des Diagramms enthält all jene Typologien, die sich lediglich aus Pyramidenformen aufbauen. In allen verbleibenden Feldern kommen auch die Prismenformen mit ins Spiel. Generell ist für das richtige Lesen des Schemas der Umstand wichtig, dass von links nach rechts (die letzte Spalte bleibe hier einmal unberücksichtigt) die Form {211} sukzessiv an Größe abnimmt, wohingegen die Form {101} kontinuierlich anwächst. Zudem kommt es von oben nach unten betrachtet zu einer kontinuierlichen Auswechslung der Form {110} durch die Form {100}. Wie schon die erste Zeile eine Art Sonderfall darstellte, so gilt dies in gewisser Weise auch für die Spalte ganz rechts im Diagramm, welche Kristalltypologien mit der in der Natur eher selten auftretenden Form {311} enthält. Jedes Feld im Diagramm besitzt eine spezifische Bezeichnung, welche sich aus Buchstaben und Ziffern zusammensetzt (Abb. 1) und eine Erleichterung für die Zuordnung einzelner Typologien darstellen soll.

Wie geht man nun konkret bei der Untersuchung der Zirkontypologie unter dem Licht- oder Elektronenmikroskop vor? Es muss hier freilich vorweggenommen werden, dass eine exakte Feststellung der externen Morphologie unter dem Lichtmikroskop zumeist versagt bleibt, da die Bestimmung der Größenverhältnisse einzelner Formen durch ungünstige Lage des Korns, störende Überwachsungen und dergleichen in erheblichem Maße beeinträchtigt werden kann. Bei elektronenmikroskopischen Bildern ist die Sache wesentlich einfacher. Hier kann für den Fall, dass das interessierende Korn keine allzu großen durch Metamorphose bedingten Abnutzungen zeigt, das Flächenverhältnis der Pyramiden und Prismen durch verschiedene geometrische Verfahren ermittelt werden. Wenn man nun die erste Zeile und rechte Spalte des Diagramms einmal außer Acht lässt, so verschiebt sich das Größenverhältnis zwischen {211} und {101} von einer

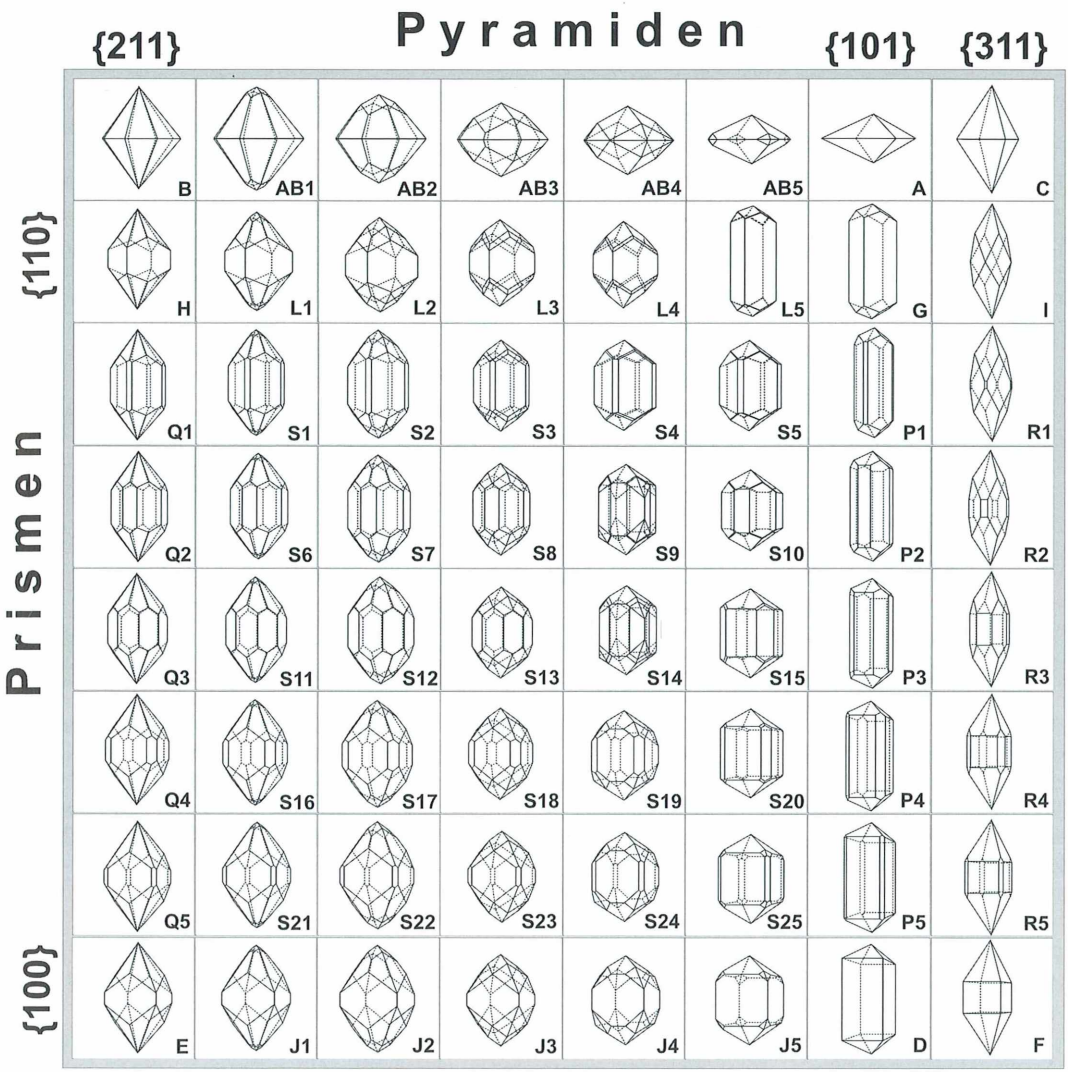


Abb. 1: Typologiediagramm, wie es von Pupin und seinem Mitarbeiter entwickelt wurde (Pupin, 1980; Pupin und Turco, 1972). In horizontaler Richtung wird das Größenverhältnis zwischen den beiden Formen {211} und {101} beschrieben, in vertikaler Richtung jenes zwischen den Formen {110} und {100}.

Spalte zur nächsten jeweils um ein Drittel, das heißt, es entsteht folgende Reihe: 1, 0; 1, 1/3; 1, 2/3; 1, 1; 2/3, 1; 1/3, 1; 0, 1. Dasselbe gilt auch für die Zeilen 2 bis 8 und die entsprechenden Größenverhältnisse von {110} und {100}. Als Beispiel sei die Zirkonform in der dritten Spalte und vierten Zeile (Typus S_7) genannt; Bei dieser beträgt das Größenverhältnis zwischen {211} und {101} 1:2/3, jenes zwischen {110} und {100} ebenso 1:2/3.

Beispiele für die Formenvielfalt von akzessorischem Zirkon

Im Nachfolgenden soll die hinter dem Typologiediagramm stehende Theorie anhand ausgewählter Beispiele illustriert werden, wobei das Hauptaugenmerk auf eventuelle Zusammenhänge zwischen Zirkontypologie und Magmenchemismus (= Entstehungsort des Wirtsgesteins) gelenkt wird.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

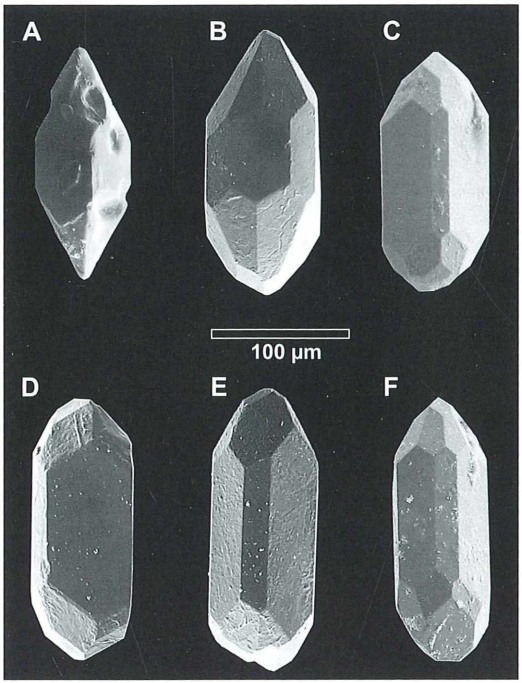


Abb. 2: REM-Aufnahmen von Zirkonkristallen, deren Typologien im oberen linken Quadranten des Diagrammes aus Abbildung 1 plotten. Wie im Text beschrieben wird, sind derartige Kristallformen typisch für saure Si-Al-Granite, welche in der kontinentalen Kruste entstehen.

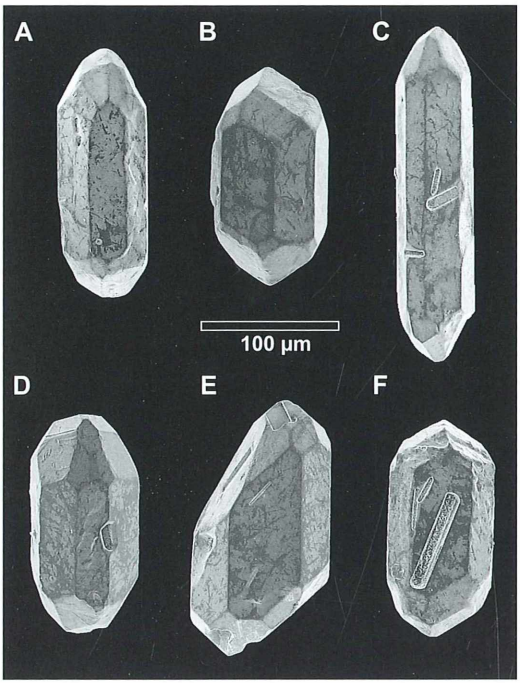


Abb. 3: Zirkonkristalle mit etwa gleich dimensionierten Prismen- und Pyramidenflächen, welche demzufolge im Zentrum des Typologiediagrammes plotten. Gesteine, welche derartige Zirkonpopulationen enthalten, weisen einen zumeist ausgeglichenen Chemismus auf.

Für die vorliegende kurze Darstellung wurden drei verschiedene, in Granitoiden der Böhmischen Masse häufig anzutreffende Zirkonpopulationen einer elektronenmikroskopischen Untersuchung unterzogen. Eine Zirkonpopulation umfasst per definitionem eine bestimmte Anzahl verwandter Typologien, wobei der Haupttypus durch statistische Zählverfahren ermittelt werden kann. Die in Abbildung 2 dargestellten Kristalle gehören allesamt dem oberen linken Quadranten des Typologieschemas der Abbildung 1 an, wobei die oberste Zeile (Zirkone ohne Prismenbildung) von der Betrachtung ausgenommen bleibt. Es handelt sich demzufolge um die Typologien H, L_{1-2}, S_{1-2}, S_{6-7} und Q_{1-2}. Derartige Zirkonkörner sind – wie wir bereits im vorigen Kapitel erfahren konnten – durch ein mehr oder minder deutliches Vorherrschen sowohl der Pyramidenform {211} als auch der Prismenform {110} gekennzeichnet und setzen sich im Falle des H-Typus sogar ausschließlich aus diesen beiden Formen zusammen. Zu den Gesteinen der Böhmischen Masse mit derartiger Zirkonpopulation zählen unter anderem die so genannten Zweiglimmergranite, manche Feinkorngranite sowie die Perlgneise.

Die Zirkonkristalle der Abbildung 3 gehören einer Population an, welche etwa im Zentrum des Typologiediagrammes plottet. Idealerweise zeigen die Körner sowohl gleich große Pyramiden als auch in der Größe kaum zu unterscheidende Prismen. Die am häufigsten auftretenden Typologien sind in diesem Falle S_{7-9}, S_{12-14} sowie S_{17-19}. Die Variabilität in Bezug auf das Flächenverhältnis zwischen den Pyramiden auf der einen Seite und den Prismen auf der anderen zeigt von Wirtsgestein zu Wirtsgestein mitunter deutliche Unterschiede, jedoch reicht die anzutreffende Zirkonpopulation in morphologischer Hinsicht praktisch niemals über das Feld der S-Typen hinaus, und randliche Typen treten

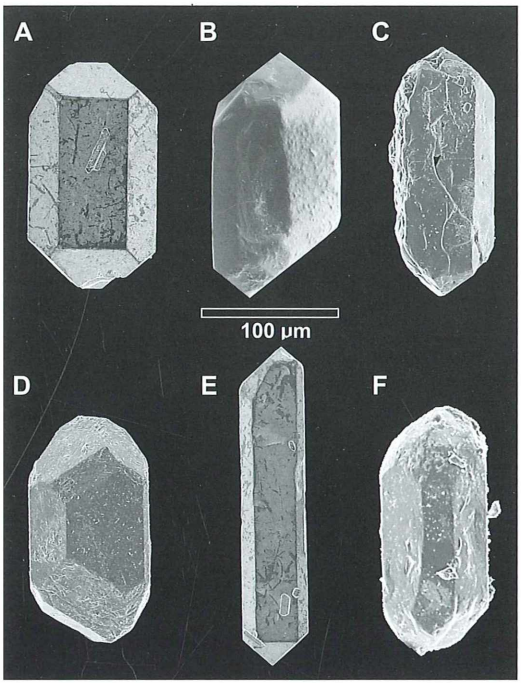


Abb. 4: Zirkonkristalle des rechten unteren Quadranten im Typologiediagramm. Solche Körner deuten auf einen Magmenchemismus hin, der reich an Alkalien und Erdalkalien ist, was ein Hinweis für eine vermehrte Aufnahme von Mantelkomponenten bedeutet.

zudem nur mit reduzierter Häufigkeit auf. Ein dem Böhmischen Pluton zuzuordnendes Gestein mit derartiger Zirkonpopulation ist beispielsweise eine spezifische Varietät des Weinsberger Granits, der unter Petrologen ob seiner Grobkörnigkeit bekannt ist.

Wenn man sich zuletzt der Abbildung 4 zuwendet, so kommen die dargestellten Zirkonkristalle allesamt im unteren rechten Quadranten des Typologieschemas zu liegen; die äußerste Spalte rechts außen ist wiederum nicht in die Betrachtungen mit einzubeziehen. In Frage kommende Typologien sind in diesem Falle S_{18-20}, S_{23-25}, J_{3-5}, P_{4-5} und D. Die unter diesen Typen subsummierten Kristalle weisen eine zumeist deutliche Dominanz sowohl der flachen Pyramide {101} als auch des Prismas {100} auf, wobei im Falle des D-Typus die Morphologie alleine auf die beiden Formen {101} und {110} beschränkt bleibt. Die Variabilität der Zirkonformen ist im Gegensatz zur zuvor beschriebenen Population wiederum enger umrissen, zeigt also nur in sehr seltenen Fällen (oder bei Kontamination während der Gesteinsaufbereitung) morphologische Ausreißer. Zu den Gesteinen der Böhmischen Masse mit derartiger Zirkonpopulation zählt beispielsweise der Grobkorngneis oder Schlierengranit, der genetisch eine zumindest entfernte Verwandtschaft mit dem bereits erwähnten Weinsberger Granit besitzt.

Grobe Einordnung der genetischen Provinienz der Wirtsgesteine

Bereits der französische Petrologe Pupin hat in seiner legendären, jedoch heute nicht mehr unumstrittenen Arbeit am Anfang der 1980er Jahre darauf hingewiesen, dass die typologische Auswertung der Zirkonpopulation eines bestimmten Granitgesteins Hinweise auf dessen Entstehungsort innerhalb der Erdkruste geben kann. Diese Frage erscheint deshalb so interessant, weil Granite und verwandte magmatische Gesteine in ihrer Genese keineswegs auf die kontinentale Kruste festgelegt sind, sondern auch im Bereich so genannter Inselbögen (Abb. 5) oder sogar an den mittelozeanischen Rücken gebildet werden können. Wie nun das stark vereinfachte Schema der Abbildung 5 zu erkennen gibt, kann eine Verschiebung der Zirkonpopulation im Typologieschema der Abbildung 1 von oben links nach unten rechts in etwa gleichgesetzt werden mit einer Verschiebung der Genese des Wirtsgesteins von kontinentaler hin zu ozeanischer Kruste. Wie äußert sich diese Verschiebung im Chemismus des Intrusivgesteins? Auch hier lassen sich wiederum sehr einfache Zusammenhänge entwickeln. In kontinentale Kruste intrudierende Magmen zeigen zumeist einen erhöhten Gehalt an Silizium und Aluminium, sind also von ihrem makroskopischen Erscheinungsbild als hell oder sauer zu bezeichnen. Dem gegenüber stehen die Intrusiva der Inselbögen und vor allem der ozeanischen Kruste, die vermehrt Bestandteile des Erdmantels aufnehmen und demzufolge erhöhte Konzentrationen an Kalium, Kalzium und Magnesium besitzen. Diese Gesteine sind als dunkel oder basisch zu bezeichnen. Bei Verwendung der Fachsprache ist die erste Gruppe als peralumisch, die zweite hingegen als metalumisch oder kalkalkalisch anzusprechen. Verallgemeinert man die soeben beschriebenen Betrachtungen, so lässt sich grob

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

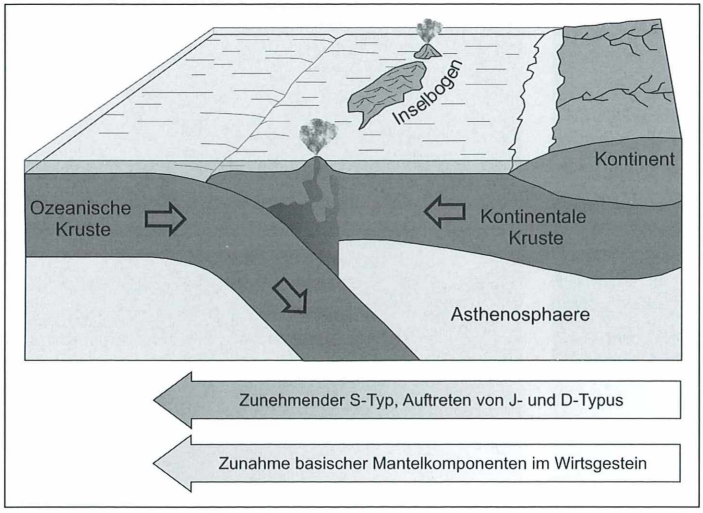


Abb. 5: Vereinfachte Darstellung zur Beschreibung des Zusammenhanges zwischen Zirkontypologie, Bildungsort des Wirtsgesteins und Chemismus des Magmas.

festhalten, dass Zirkonkristalle mit den dominierenden Formen {211} und {110} Graniten mit kontinentaler Provinienz zuzuordnen sind, während die Dominanz der Formen {101} und {100} vermehrt auf Gesteine mit ozeanischer Provenienz hindeutet.

Resümee

Möchte man ein kurzes Resümee der hier vorgestellten Ergebnisse geben, so kann in diesem Fall zweifellos ein Zusammenhang zwischen Mikro- und Makrokosmos hergestellt werden, dienen doch spezifische Wachstumsformen von Kristallen als Indikatoren zur Ermittlung der Herkunft eines Gesteins. Natürlich gibt es wesentlich genauere, auf geochemischer Basis beruhende Methoden der petrogenetischen Determination. Dennoch erscheint der mikroskopisch-kristallographische Zugang zu dieser komplexen Thematik gerade für den Nicht-Fachmann interessant, da er bereits anhand geringfügiger Kenntnisse nachvollziehbar wird.

Literaturhinweise

Frasl, G.: Die mikroskopische Untersuchung der akzessorischen Zirkone als eine Routinearbeit des Kristallingeologen. Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt *106*, 405–428 (1963).

Hoppe, G.: Die Verwendbarkeit morphologischer Erscheinungen an akzessorischen Zirkonen für petrogenetische Auswertungen. Abhandlungen der Deutschen Akademie der Wissenschaften, Klasse für Bergbau, Berlin 1963.

Larsen, L. H., Poldervaart, A.: Measurement and distribution of zircons in some granitic rocks of magmatic origin. Mineralogical Magazine *31*, 544–546 (1957).

Poldervaart, A.: Zircon in rocks: 2. Igneous rocks. American Journal of Science *254*, 521–554 (1956).

Pupin, J. P.: Zircon and granite petrology. Contributions of Mineralogy and Petrology *73*, 207–220 (1980).

Pupin, J. P., Turco, G.: Une typologie originale du zircon accessoire. Bulletin de la Société Française de Minéralogie et Cristallographie *95*, 348–359 (1972).

Sturm, R.: Mikroskopie des Internbaues magmatischer Kristalle. Mikrokosmos *93*, 324–330 (2004).

Sturm, R.: Kombinierte Schnitttechniken zum mikroskopischen Studium des Wachstums magmatischer Kristalle. Mikrokosmos *94*, 247–253 (2005).

Verfasser: Mag. Dr. Robert Sturm, Brunnleitenweg 41, A-5061 Elsbethen, Österreich

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Mikro - Kids

Mir blüht etwas!

Lutz Hartmann

Mir blüht etwas, so sagt man eigentlich, wenn einem etwas Unangenehmes bevorsteht. Doch hier brauchen wir uns nicht zu fürchten, denn wir wollen uns mit einer recht spannenden Sache beschäftigen, nämlich den Blüten und ihren Pollen.

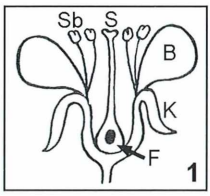
In der warmen Jahreszeit erfreut uns die Natur mit ihrer verschwenderischen Blütenpracht. Manche Leute sehen das aber gar nicht so, nämlich wenn sie von einem Heuschnupfen geplagt werden. Kommt das vom Heu? Na, sicher nicht nur, meist sind es eher die Pollen der Blüten, die in der Nase kitzeln. Und das können ziemlich viele Arten sein.
Ein Blick auf eine Fensterbank, aber auch auf den Lack eines Autos, zeigt uns eine mögliche Ursache für diese Erkrankung. Oft ist dort alles dicht mit einem gelben Blütenstaub überzogen. Und gerade diese winzigen Teilchen können die Übeltäter sein. Wo kommen sie eigentlich her, und wozu dienen sie?

Allgemeines über Blütenpollen

Alle Pflanzen sind mit wenigen Ausnahmen über ihre Wurzeln an einen festen Platz in der Erde gebunden. Sie können daher nicht von einer Pflanze zur anderen wandern, um sich fortzupflanzen. Bei der Bestäubung der Blüten kommen nun die Pollen ins Spiel. Blütenpflanzen bilden zunächst Blütenpollen, die sich in den Staubbeuteln ihrer Blüten befinden (Abb. 1). Die Staubbeutel sind der männliche Teil der Blüte. Sind diese vollständig ausgebildet, platzen sie auf und werden nun entweder durch den Wind oder aber auch durch Tiere wie Insekten zum Stempel, das ist der weibliche Teil einer Blüte, transportiert. Die Bestäubung funktioniert nur zwischen Blüten der gleichen Pflanzenart. Vom Stempel gelangen sie zum Fruchtknoten, wo entweder eine Frucht oder der Samen gebildet werden. Der Samen kann sich dann weiter verbreiten, und wenn der Samen keimt, entsteht eine neue Pflanze.
Bei den Früchten hingegen hat sich die Natur einen weiteren tollen Trick ausgedacht, um sich über noch größere Entfernungen als durch den Wind zu verbreiten. Einige Tiere fressen nämlich manche Früchte recht gern. Der in ihnen vorhandene Samen wird dann später ausgeschieden, wodurch schließlich eine neue Pflanze entstehen kann, und das dann oft recht weit von der Mutterpflanze entfernt.

Methoden bei der mikroskopischen Untersuchung

Zurück zu den Pollen! Denn mit denen beginnt ja die eigentliche Fortpflanzung. Wie können wir mit dem Mikroskop denn nun diesen feinen Blütenstaub untersuchen?
Nun, das ist gar nicht so schwer. Es gibt zwar viele verschiedene Methoden, ich möchte aber zwei herausgreifen, die schnell und einfach auszuführen sind.



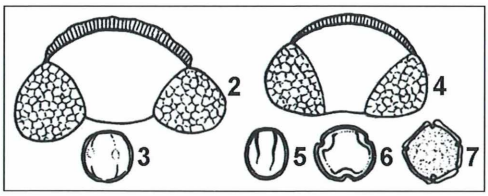


Abb. 1: Schema einer Blüte. B Blütenblatt, F Fruchtknoten, K Kelchblätter, S Stempel, Sb Staubgefäße. – Abb. 2–7: Pollen von 2 Tanne, 3 Buche, 4 Fichte, 5 Eiche, 6 Linde, 7 Ulme (Zeichnungen: Hannelore Hartmann, Berlin).

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Bei der ersten Methode gehen wir auf eine Wiese oder in den Garten und zupfen einige Staubbeutel von bestimmten Blüten ab, beispielsweise einer Tulpe. Die kleinen Staubbeutel kann man dann mit einem Skalpell oder einer Rasierklinge (Vorsicht!) aufschneiden. Die winzigen Pollen, die hierbei hervorkommen, können wir mit einem feinen Haarpinsel auf einen Objektträger legen. Wir geben einen kleinen Tropfen Wasser oder Öl darauf, legen ein Deckgläschen auf, und schon können wir mit der Untersuchung unter dem Durchlichtmikroskop beginnen.

Versuchen wir es zunächst – wie immer – mit unserer kleinsten Vergrößerung, also einem 4-er oder 5-er Objektiv. Dabei werden wir aber schnell feststellen, dass man nicht viel mehr als kleine Punkte erkennen kann. Denn eins wird jetzt schnell deutlich: Blütenpollen können sehr klein sein, oft zwischen 20 und 50 µm. Die Pollen von Kürbispflanzen dagegen sind mit ihrer Größe von 200–400 µm richtige Giganten. Nun, schwenken wir jetzt das nächst größere Objektiv in den Strahlengang. Jetzt wird man schon wesentlich mehr Einzelheiten ausmachen können. Oft sind die Pollen an der Oberfläche stachelig oder weisen andere Oberflächenstrukturen auf.

Und genau das gibt einem die Möglichkeit, sich einen Pollen-Katalog anzulegen. Am einfachsten ist es, die unterschiedlichen entdeckten Pollenarten zu zeichnen. Hiermit kann man dann später versuchen, Pollen, deren Ursprung man nicht kennt, näher zu bestimmen. Ganz einfach ist das nicht, denn es gibt eine Fülle unterschiedlicher Formen. Die erste Methode beruht also darauf, sich ganz bestimmte Pollen von Pflanzen auszusuchen und deren Aussehen festzuhalten.

Die zweite Methode ist auch recht einfach durchzuführen. Sie hat schon etwas von der polizeilichen Ermittlungsarbeit an sich. Um Fingerspuren von einem Tatort zu sichern, gehen Kriminalisten nämlich ähnlich vor.

Anfangs hatte ich ja den reichlich anzutreffenden Blütenstaub auf der Fensterbank oder den Autos erwähnt, und genau den können wir mit einer verblüffend einfachen Methode untersuchen. Wir benötigen hierzu einfach nur ein sauberes (!) kleines Stückchen Tesafilm. Mit der klebenden Seite nehmen wir Blütenstaub auf und kleben diese Probe nun auf einen Objektträger. Ein Deckgläschen ist hierfür nicht erforderlich. Alles kommt nun unter unser Mikroskop. Jetzt kann die Detektivarbeit beginnen. Wie schon bei der ersten Methode beschrieben, arbeiten wir uns langsam von einer schwachen zu einer stärkeren Vergrößerung vor. Was dort zu finden ist, kann ich natürlich auch nicht vorhersagen, aber eins ist sicher: Es ist spannend herauszufinden, zu welchen Pflanzen die Blütenpollen gehören könnten (Abb. 2–7). Alles wird man sicher nicht ergründen können. Einige weitere Abbildungen zu verschiedenen Blütenpollen findet man im unten genannten Buch *Mikroskopieren* von Annerose Bommer.

Wo kann man noch mehr über das Mikroskopieren und die Untersuchung von Blütenpollen erfahren?

Bommer, A.: Mikroskopieren. Franck-Kosmos Verlags-GmbH, Stuttgart 1999.
Bosch, G.: Expedition Mikroskop. Rowohlt Taschenbuchverlag, Reinbek bei Hamburg 2001.
Kremer, B. P.: 1×1 der Mikroskopie. Franck-Kosmos Verlags-GmbH, Stuttgart 2005.

Verfasser: Lutz Hartmann, Brandtstr. 8, 13467 Berlin

euromex
MICROSCOPES HOLLAND

Mikroskope
Stereomikroskope
Mikrotome
Kaltlichtbeleuchtung
Refraktometer

STEREOMIKROSKOP E-REIHE

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

MIKROSKOP F-REIHE

Fordern Sie unseren Prospekt an

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

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Ein Fremdling in der Mikroflora von sauren Tagebaurestseen

Wolfgang Jacob

Langzeitliche Beobachtungen und Exkursionen zu den sauren Lausitzer Tagebaurestseen schufen ein recht genaues Bild der den extremen Umweltbedingungen angepassten Mikroorganismen. Einige Publikationen zu dieser Thematik (Jacob und Kapfer 1999; Jacob, 2001, 2002) enthielten aber leider sich fortsetzend ein ungelöstes Problem. Eine vermeintliche Alge hoher Alterungsbeständigkeit von markantem, manchmal exotischem Aussehen bereitete erhebliche taxonomische Probleme, die wohl erst jetzt gelöst sind. Über diese auch botanisch interessante Geschichte einer Bestimmung soll berichtet werden.

In Proben verschiedener saurer Tagebaurestseen wurden gelegentlich Fadenteile einer „Alge" mit einer gewissen Ähnlichkeit zu *Cladophora* gefunden, die aber nicht bestimmbar waren. In dem Restsee Sedlitz dominierte diese Pflanze. Rückstellproben aus diesem See zeigten nach etwa sechs Monaten – oft im jeweils kommenden Frühling – sattgrüne, algenartige Gebilde. Diese wuchsen langsam, aber nach etwa einem Jahr war der Boden der Probegläser (250 ml) mit einem Filz ähnlichen, grünen Fadengeflecht überzogen (Abb. 1). Diese Vegetationsschicht blieb im Durchschnitt etwa ein Jahr stabil, danach liefen für längere Zeit Absterbe- und Wachstumsprozesse zeitgleich ab. Eine Kultur hatte auf diese Weise acht Jahre Bestand. Das Mikroskop offenbarte die Fadenanatomie. Die algengleichen Fäden hatten Durchmesser zwischen 15 und 35 µm und Zelllängen bis 200 µm. Die zentralen Fäden waren im Allgemeinen dicker und hatten bevorzugt schräge Zellzwischenwände, bei den oft dünneren Seitenfäden überwogen senkrechte Zwischenwände. Die zahlreichen Chloroplasten erreichten Größen von 5–8 µm, waren lang und spitz, aber auch oval und in seltenen Fällen sogar rund. Chloroplastenfreie Haftzellen verankerten die Fäden im Grund. Stärkenachweise mit Lugol'scher Lösung erbrachten keine eindeutigen Ergebnisse. Die Fäden hatten oft kugelförmige Ausbuchtungen, die manchmal Sporen ähnlich abgetrennt wurden oder später auch Seitenzweige bildeten. In älteren Kulturen entstanden zunächst grüne, später braune stark mit Reservestoffen angereicherte Vegetationskörper (Abb. 2–13 zur Fadenanatomie).

Interpretation der Befunde

Diese ersten Befunde deuteten auf eine Fadenalge. Die öligen Reservestoffe, die manchmal schon in jüngeren Fäden vorhanden waren, und auch die negativen Ergebnisse beim Stärkenachweis legten zunächst nahe, dass es sich um eine Xanthophycee (Gelbgrünalge) handelt. Eine gezielte Suche hatte auch scheinbar Erfolg. Wie aus Abbildungen verschiedener Quellen ersichtlich (Fott, 1959; Syllabus,

Abb. 1: Etwa einjährige Protonema-Kultur im Fundwasser.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

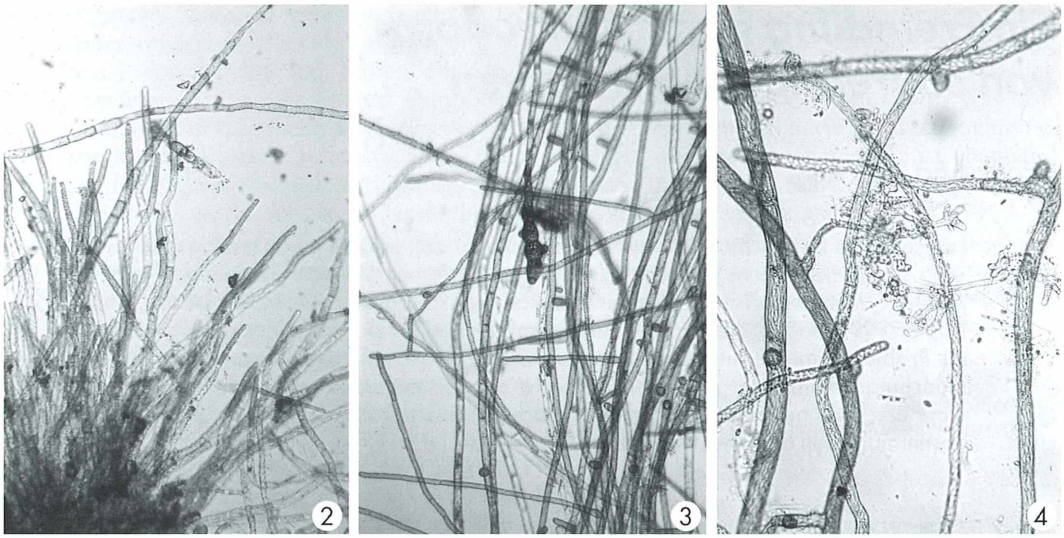


Abb. 2–4: Fäden einiger Kulturen in steigender Vergrößerung (50-, 75-, 175fach).

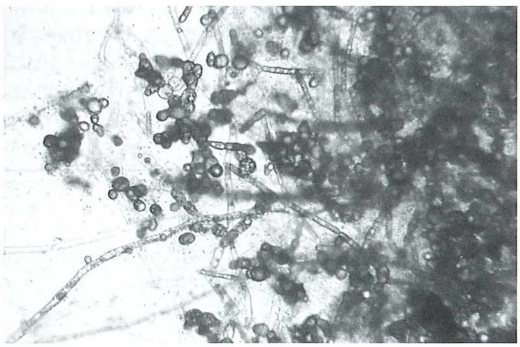


Abb. 5: Alternde Fäden mit Vegetationskörper (50fach).

1995), hatten die gefundenen Fäden eine erhebliche Ähnlichkeit mit Gelbgrünalgen der Gattung *Heterococcus*. In einer frühen Arbeit (Jacob und Kapfer, 1999) wurden die gefundenen Fäden daher *Heterococcus* zugeordnet. Aber mit der Länge der Beobachtungszeit wuchsen die Zweifel an dieser Vorstellung. Auffallend waren die hohe Beständigkeit der Kulturen und die farbstarken Chloroplasten. Sehr früh fiel auch eine Ähnlichkeit mit Protonemata (Vorkeimen) von Moosen auf. Da aber in den Kulturen über Jahre keine Moospflanzen zu finden waren und die offensichtliche Protonema-Ähnlichkeit von *Heterococcus* sich sogar in der wissenschaftlichen Namensgebung für diese Gelbgrünalgen niederschlug, wie beispielsweise bei *Heterococcus protonematoides*, blieb die Vorkeimversion noch immer unwahrscheinlich.

Vorkeimtheorie

Dies änderte sich erst 1998, als Whitton über reversible Wachstumshemmungen von Protonemata des Sichelmooses *Drepanocladus fluitans* berichtete. Mit den Vorkeimen dieses Mooses besiedelte Stellen in der Nähe eines schwefelsauren Fließgewässers (pH 2,6) waren nach Anstieg auf einen pH von 3,1 von Moospflanzen dieser Art bedeckt. Der Autor berichtete auch über Verwechslungen dieser Protonemata mit verschiedenen Algen, wie zum Beispiel *Cladophora*.

Es gelang, eine 2-ml-Probe aus diesem Gewässer über die BTU, Cottbus, zu beschaffen. Ein gezielt beobachteter Vorkeim aus dieser Probe hatte – abgesehen von der robusteren Struktur – eine hohe Ähnlichkeit mit denen der sauren Restseen, konnte aber nicht zur Sprossbildung gebracht werden. Dagegen entwickelten sich in anderen Teilen der Probe bestimmungsfähige Pflanzen des Sichelmooses. Das gleiche Moos wurde auch in der Nähe des sauren Restsees Grünewalder Lauch gefunden (Abb. 14). Hier gelang auch die Dokumentation einer Moospflanzenbildung (Abb. 15).

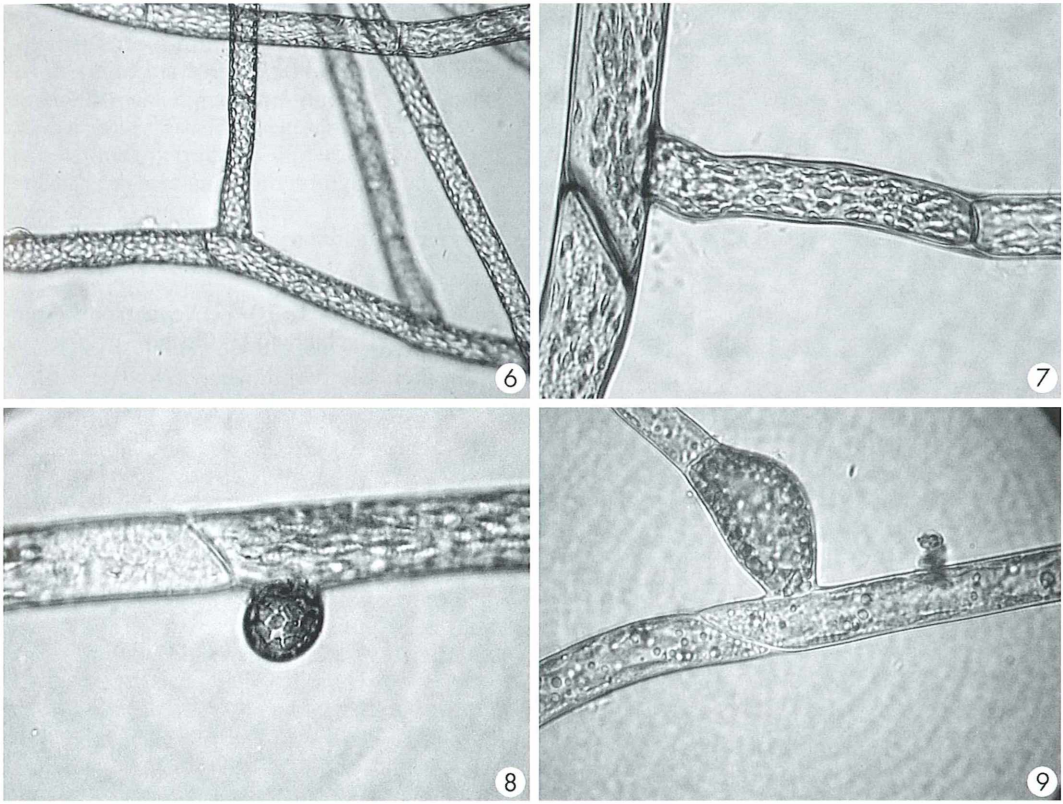


Abb. 6–7: Fadenverzweigungen, Übergang vom Caulonema-Stadium (schräge Zellzwischenwände) zum Chloronema-Stadium (gerade Zwischenwände) (200- und 500fach). – Abb. 8: Knospe ohne Sprossbildung (500fach). – Abb. 9: Ältere Knospe mit Durchtrieb (350fach).

Experimente zur Vorkeimtheorie

Durch einen modifizierten Milieuwechsel sollte nun auch die Vorkeimversion für die Fäden aus dem Restsee Sedlitz eindeutig und schnell zu belegen sein. Im Einzelnen wurde Folgendes versucht:

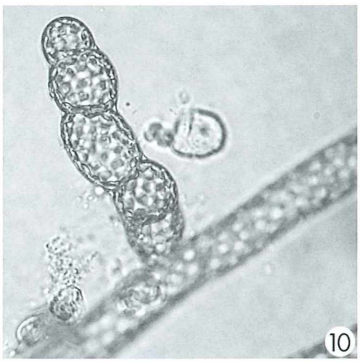
– *Langzeitbeobachtungen:* In Erwartung einer Sprossbildung wurden Proben über Jahre beobachtet, in einem Falle über einen Zeitraum von 1997 bis 2006. Bei diesen langjährigen Rückstellproben konnte in keinem Fall eine Sprossbildung beobachtet werden. Dies gelang erst bei zwei Rückstellproben aus 2004/2005 mit wenigen Pflänzchen.

– *Glucose-Zusatz:* Da bekannt ist, dass in den sauren Restseen das Wachstum von Pflanzen durch die Menge an verfügbarem Kohlenstoff begrenzt wird, wurde versucht, durch Zusatz von 2 g Glucose auf 200 ml Probenwasser das Nährstoffangebot zu verbessern. Die Fäden wuchsen deutlich besser, lagerten mehr Reservestoffe ein, bildeten aber keine Sprosse.

– *Milieuänderungen:* Hierbei wurde zum einen der pH-Wert stufenweise erhöht und zum anderen für eine Moosentwicklung förderliche Bedingungen geschaffen, wie folgt: i) Einstellung des pH-Wertes auf etwa 4 durch sterilisiertes Leitungswasser. In ähnlichem Milieu wurden in der Nähe des Grünewalder Lauchs die erwähnten *Drepanocladus*-Pflänzchen gefunden. ii) Weitere Erhöhung des pH auf 7. iii) Schaffung einer neutralen, feuchten Umgebung durch sterilisierte Tonscherben. iv) Sonnenlichtexposition einer neutralen Probe, etwa 50 h Direkteinstrahlung auf die Fäden.

Die Ergebnisse waren in allen Fällen recht ähnlich. Ein erheblicher Teil der Fäden starb ab,

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/



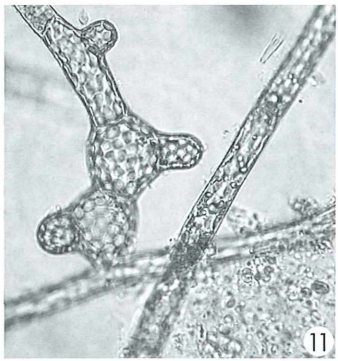
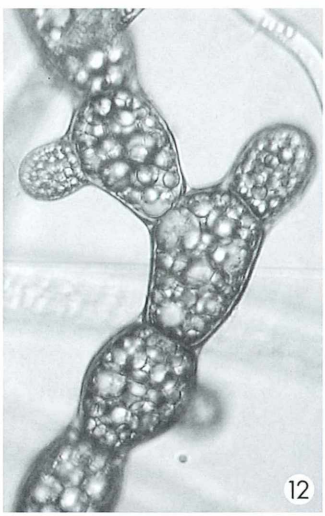
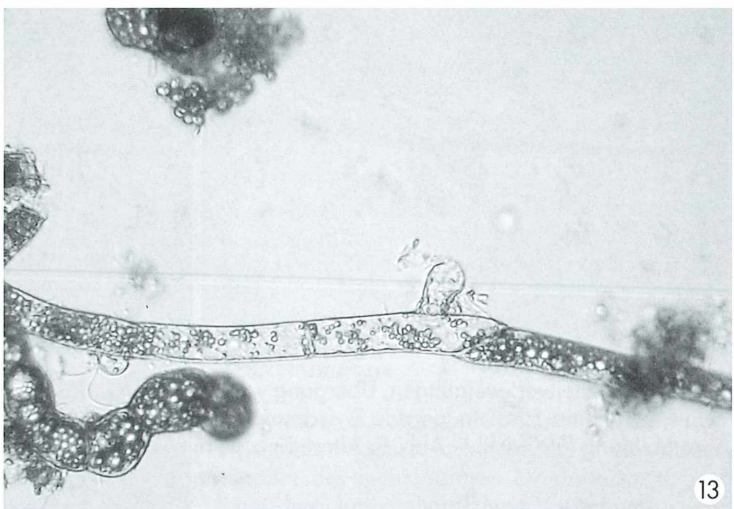
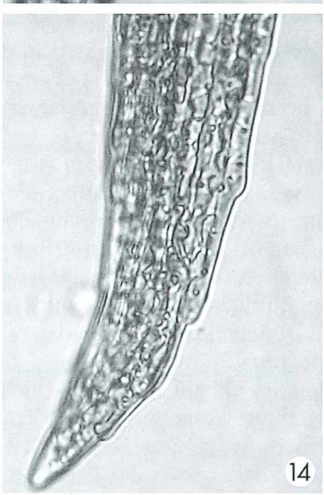


Abb. 10–11: Vegetationskörperbildung (370fach).







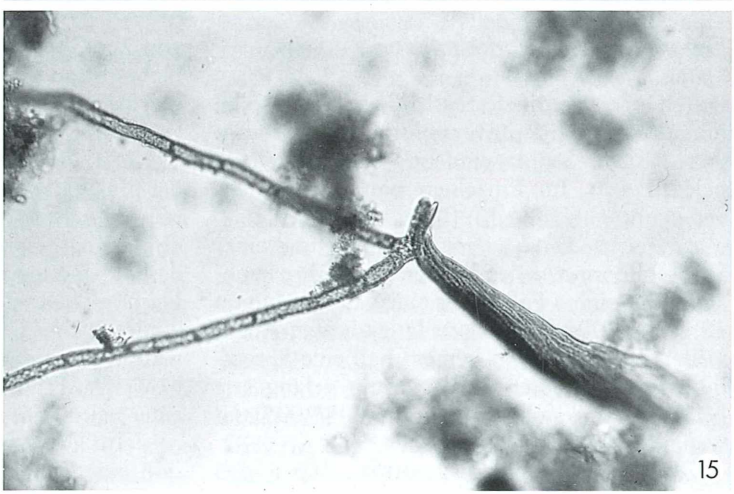


Abb. 12–13: Reife Vegetationskörper mit Reservestoffen (500- und 250fach). – Abb. 14: Blattspitze eines Sichelmooses *(Drepanocladus)* (30fach). – Abb. 15: Sprossbildung aus einem Moosvorkeim (75fach).

teilweise bildeten sich reservestoffreiche Körper, aber eine Sprossbildung erfolgte nicht.
Damit stand bis Mitte 2004 ein exakter Beleg für die Mooskeimversion noch aus. Deshalb wurden alle bis dahin gesammelten Fakten noch einmal betrachtet und die vorhandenen Proben gesichtet und Unterstützung bei Algen- und Moosexperten gesucht. Erfreulicherweise fand diese Thematik erhebliches Interesse. Durch Hinweise von Herrn Dr. Gärtner, Innsbruck, konnte zunächst eindeutig geklärt werden, dass es sich um ein Moos-Protonema handelt. Die in Teilen der Fäden vorkommenden geraden Zellzwischenwände findet man in dieser Form nicht bei Algen.

Moosentwicklung

Die vermeintliche Alge war also ein durch ein oder mehrere Faktoren in seiner normalen Entwicklung gehemmter Moosvorkeim. Eine genaue Klärung der Ursachen würde komplexe physiologische Untersuchungen erfordern, die hier nicht möglich sind. Dennoch soll versucht werden, aus den vorliegenden Fakten und der erhaltenen Literatur (Bopp, 2000; Philippi, 1966) Ansätze einer Erklärung zu finden.
Die normale Entwicklung einer Moospflanze beginnt mit der Sporenkeimung. Der erste Algen ähnliche Keim besitzt geradestehende Zellzwischenwände und bildet gegebenenfalls Chloroplasten freie Haftzellen aus und wird als Chloronema bezeichnet. Aus diesem verzweigen sich Seitenäste mit im Wesentlichen schrägen Zellzwischenwänden. Der Moosvorkeim gelangt so in das so genannte Caulonema-Stadium. Diese Trennung ist aber nicht streng, bei Verschlechterung der Umweltbedingungen ist die Bildung neuer Chloronema-Fäden möglich (Abb. 6 und 7). Bei weiter günstigen Bedingungen bilden sich halbrunde Seitenwülste. An diesen und anderen Zellenden setzt schließlich eine Dreifachfurchung ein. Diese entwickelt schließlich den belaubten Spross. Für die Vorgänge bis zur Sprossbildung werden unterschiedliche Zeiten angegeben, wahrscheinlich sind wohl 10–40 Tage. In dem hier beschriebenen Fall verläuft die Vorkeimentwicklung bis zur Wulstbildung extrem langsam – was aufgrund des Mangels an verfügbarem Kohlenstoff in diesem Gewässer erklärbar ist –, aber durchaus normal. Die normalerweise folgende Dreifachstrukturierung und Sprossbildung fand dagegen bis auf die unten beschriebenen Ausnahmen nicht statt.

Mögliche Ursachen der Entwicklungshemmung

Zur Ursachenerkundung wird zunächst der Restsee Sedlitz näher betrachtet, bei dessen Rückstellproben diese Entwicklungshemmung zuerst und überwiegend beobachtet wurde. Über diesen zurzeit etwa 7 km^2 großen und mehr als 10 m tiefen Restsee wurde bereits berichtet (Jacob, 2001). Charakteristisch für diesen See ist der Aufbau zeitlich begrenzter Nahrungsketten. Die normalerweise produzierte Grünalgenmasse aus *Chlamydomonas*, *Zygogonium* und anderen liegt deutlich unter der vergleichbarer Nachbarseen. Kennzeichnend ist auch das Vorkommen von Inseln aus tertiären Schluffsanden, welche Markasit enthalten, die seit mehr als einem Jahrzehnt völlig vegetationslos sind. Die Wasserinhaltsstoffe zeigen keine grundsätzlichen Unterschiede zu benachbarten Restseen. Der pH von etwa 2,8 liegt noch im Limit der benachbarten Seen, der Sulfatgehalt mit etwa 1300 mg/l ist dagegen als ein oberer Wert zu betrachten. Der Durchschnitt anderer Seen erreicht etwa 500–1000 mg/l. Die Werte von Spurenelementen wie Kupfer, Zink und Kobalt sind gegenüber benachbarten Seen ebenfalls leicht höher; bei Kobalt werden 1 mg/l erreicht. Am Rande sei erwähnt, dass dieser See im Rahmen eines Sanierungsprojektes ab Januar 2006 Fremdwasser erhält und die Wasserinhaltsstoffe bald verändert sein werden.
Nun beschreiben Bopp und Bhatla (1985) ausführlich den Einfluss verschiedener Phytohormonsysteme und Hemmstoffe auf die Protonema-Entwicklung von Moosen. Danach sind für eine Sprossbildung beispielsweise Calciumionen erforderlich. Sie sind auf jeden Fall ausreichend vorhanden, aber Kobaltionen inhibieren die Wirkung der Calciumionen, und diese enthält der Restsee neben anderen Schwermetallen und dem phytotoxischen Markasit (Eisensulfid) ebenfalls. Als Erklärungsversuch könnte man somit eine Inhibierung durch Metallionen annehmen.

Der Durchbruch

Auch unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse wurde 2005 wieder versucht, diese Entwicklungshemmung zu durchbrechen. Ein fördernder Faktor sollte Licht sein. Deshalb wur-

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Abb. 16: Geschafft! Einzelne Moossprosse in einer Protonema-Kultur.

den Proben so positioniert, dass eine Sonneneinstrahlung nur etwa das obere Drittel der Probegefäße erreichen konnte, so dass eine direkte Bestrahlung der Fäden weitgehend ausblieb. Nach ungefähr drei Monaten konnten nun in zwei Proben wenige (< 10) Moossprosse beobachtet werden (Abb. 16). Damit sollte im Prinzip bewiesen sein, dass diese Entwicklungshemmung zu durchbrechen ist.

Rückblickend erscheint die Lösung dieses taxonomischen Problems eigentlich nicht so schwierig. Dabei wird aber gern übersehen, dass die einzelnen Erkenntnisse und Erfahrungen, die schließlich zum Erfolg führten, erst in kleinen und manchmal zeitaufwändigen Schritten zu erarbeiten waren.

Die hier beschriebene Sprossbildungshemmung bei einem Sichelmoos weist auf die noch immer recht enge phylogenetische Verwandtschaft zwischen Algen und Moosen hin. Dies erstaunt insofern, da Moose sich als primäre Landpflanzen schon vor ungefähr 320 Mio. Jahren (Silur/Devon-Übergang) wohl aus *Chara* ähnlichen Grünalgen entwickelt haben (Strasburger, 1991). Es ist bemerkenswert, dass ein über viele Millionen Jahre etablierter Entwicklungsgang durch Veränderung weniger Umweltkomponenten relativ einfach zu blockieren ist.

Danksagung

An dieser Stelle wird der Lausitzer und Mitteldeutschen Bergbauverwaltungsgesellschaft als Eigentümerin für ihr vielfältiges Entgegenkommen gedankt. Herrn Dr. Gärtner, Innsbruck, sei für die Hilfe bei der Bestimmung des Moos-Protonemas herzlich gedankt. Herzlichen Dank auch den Professoren M. Bopp, Heidelberg, G. Philippi, Karlsruhe, und B. A. Whitton, Durham, für beratende Gespräche und Überlassung von Literatur.

Literaturhinweise

Bopp, M.: 50 years of the moss story. Progress in Botany *61*, 3–34 (2000).

Bopp, M., Bhatla, S.C.: Hormonal regulation of the development in mosses. In: Purohit, S.S. (ed.): Hormonal regulation of plant growth development. Vol. 2. Agro Pub. (India, Bikaner), 1985.

Ettl, H., Gärtner, G.: Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1995.

Fott, B.: Algenkunde. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1959.

Jacob, W.: Kiefernpollen als Nährstoffquelle für Plankter in einem extrem sauren Tagebaurestsee. Mikrokosmos *90*, 301–306 (2001).

Jacob, W.: Fadenalgen in schwefelsauren Tagebaurestseen. Mikrokosmos *91*, 129–134 (2002).

Jacob, W., Kapfer, M.: Morphologie und Taxonomie von Fadenalgen im sauren Tagebaurestsee Koschen (Lausitz, Brandenburg). Lauterbornia *35*, 71–80 (1999).

Philippi, G.: Sporenkeimung und Protonemawachstum von Moosen verschiedener Standorte in Abhängigkeit vom pH-Wert. Flora, Abt. B *156*, 319–349 (1966).

Strasburger, E.: Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. 33. Aufl., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1991.

Whitton, B. A.: Long-term changes in a spring-fed acid stream. In: Chemistry and ecology of highly acid waters. Provisional Abstracts for Workshop, University of Durham, 16.–20. August 1998.

Verfasser: Wolfgang Jacob, Rembrandt-Str. 35, 01983 Großräschen

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Schirmpigmentwanderungen im Auge der Skorpione – Die Tageszeit histologisch sichtbar gemacht

Michael Lüttgen

Das Komplexauge der Arthropoden ist aus vielen einzelnen Ommatidien zusammengesetzt. Jeweils acht Sinneszellen bilden dabei ein Ommatidium, wobei die Mikrovillisäume (= Rhabdomere) der einzelnen Sinneszellen zur Innenachse hin gerichtet ein Rhabdom bilden. Jedes Einzelauge besitzt einen dioptrischen Apparat, der aus einer stark brechenden Cornealinse besteht. Bei den Insekten und Krebstieren schließt sich ein zentraler Kristallkegel an, der aber bei den Arachnida – also auch bei den Skorpionen – fehlt.

Die Ommatidien werden voneinander durch verschiedene Pigmentzelltypen abgegrenzt, zum einen durch pigmentierte Gliazellen, zum anderen durch Schirmpigmentzellen. Das eigentliche Sehpigment, das Rhodopsin, findet sich in den Mikrovilli, dem bürstenartigen Saum der Rhabdomere, welche bei den Skorpionen distal, also invers angeordnet sind. Die Schirmpigmentzellen enthalten bewegliche Granula, welche eine effektive Regulation des Lichtflusses zu den Sehzellen in den Rhabdomeren bewirken.

Hesse hat die Funktion der Schirmpigmente in seiner 1908 erschienen Publikation *Das Sehen der niederen Tiere* treffend wie folgt beschrieben: *Das Pigment wirkt vielmehr als Lichtschirm. Es hält Lichtstrahlen, die aus bestimmten Richtungen kommen, von den Sehzellen bzw. ihren rezipierenden Teilen fern und lässt nur Strahlen aus bestimmten anderen Richtungen zu: es wirkt also lichtsondernd. Das Pigment beschränkt die Möglichkeit der Erregung für die Zellen, die es umgibt; es isoliert sie optisch und bewirkt damit eine Spezialisierung der Sehzelle für einen oder wenige bestimmte Reize* (Hesse, 1908). Die Steuerung der Schirmpigmente in den Augen von Arthropoden ist lichtabhängig und durch eine innere Uhr gesteuert (Fleissner, 1974; Pyza, 1997; Meyer-Rochow, 1999; Reisenman et al., 2002). Anhand der endogen gesteuerten Wanderung der Schirmpigmente ist es quasi möglich, die Uhrzeit im histologischen Präparat sichtbar zu machen. Was hat es mit der so genannten inneren Uhr auf sich?

Endogene Rhythmen – Ein universelles Prinzip

Eine innere Uhr findet sich bei den meisten Lebewesen vom Einzeller bis hin zum Menschen. Die innere Uhr ist eine angeborene, autonome Funktion der Organismen und wird deshalb auch als endogene Uhr bezeichnet (Bünning, 1977). Da die innere Uhr ohne äußeren Zeitgeber selbständig weiterläuft, aber dann langsam vom gewohnten 24-Stunden-Rhythmus des Tag-Nacht-Wechsels abweicht, wird sie als circadian bezeichnet. Die endogenen Rhythmen haben eine circadiane Periodenlänge, also eine vom 24-Stunden-Tag abweichende Periodik, und zwar bei tagaktiven eine verlängerte und bei nachtaktiven Spezies eine verkürzte Rhythmik. Innere Uhren haben immer die grundlegende Eigenschaft, sich mit äußeren Zeitgebern synchronisieren zu lassen, das heißt in Gleichklang bringen zu lassen (Entrainment) und unter Konstantbedingungen in den so genannten Freilauf zu kommen. Dies ist reversibel, dauert aber in der Regel mehrere Tage. Hier liegt zum Beispiel der Grund für unsere Probleme mit Schichtarbeit oder beim Jet Lag. Endogene Rhythmen betreffen viele Körperfunktionen, angefangen von der Bewegungsaktivität über die Periodik der Körpertemperatur bei homoiothermen Organismen bis hin zu hormonellen Rhythmen und der Steuerung der Sensitivität von Sinnesorganen. Endogene Rhythmen werden durch einen eigenen Schrittmacher oder Oszillator (Pacemaker) gesteuert. Die Aufklärung der molekularbiologischen Strukturen der endogenen Schrittmacher steht noch am An-

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

fang, bewiesen ist aber die genetische Determination durch spezielle Uhr-Gene (Clock Genes).

Das sichtbare Licht ist der stärkste Zeitgeber

Das Licht ist der primäre und somit wichtigste Zeitgeber, aber auch andere Umweltreize können, Periodizität vorausgesetzt, zumindest als schwache Zeitgeber wirken, zum Beispiel Temperaturschwankungen. Die Bedeutung des Lichts als Zeitgeber ist schon lange nachgewiesen; das Licht wird allgemein als der maßgebliche Zeitgeber für circadiane Rhythmen von Pflanzen und Tieren angesehen (Bünning, 1977). Um Licht wahrzunehmen, bedarf es natürlich entsprechender Sinnesorgane. Im einfachsten Fall sind dies einzelne lichtempfindliche neuronale Strukturen oder einfache Augen wie Pigmentbecherocellen, oder im höchst entwickelten Fall die komplexen Linsenaugen der Säugetiere, Vögel oder Cephalopoden.

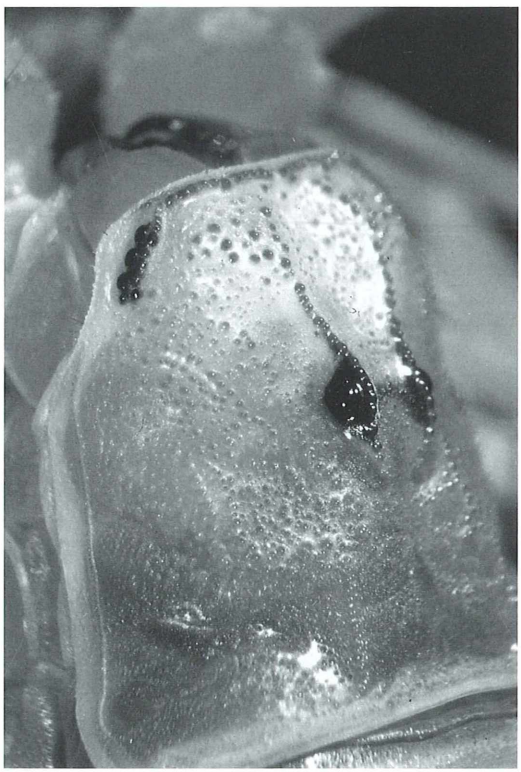


Abb. 1: Prosoma des Sahara Dickschwanzskorpions *Androctonus australis*. Gut sichtbar sind das Paar der großen Medianaugen und die fünf kleineren Lateralaugen der linken Seite. Bildbreite 17 mm.

Bei den hier vorgestellten Skorpionen finden sich die eingangs genannten, für Arthropoden typischen und gut ausgebildeten Komplexaugen in Form der Medianaugen (Abb. 1), sowie weitere Ocellenaugen, die so genannten Lateralaugen. Neben der Erkennung der Umwelt dienen die Augen als Eingangstor für die Synchronisation der inneren Uhr durch den Zeitgeber Licht. Da sich die Lichtverhältnisse im Tag-Nacht-Rhythmus drastisch verändern, muss ein Photorezeptor eine Dynamik aufweisen, welche die Signalstärken über mehrere Dekaden eindeutig und ohne störendes Rauschen verarbeiten kann. Die natürliche Beleuchtungsstärke erreicht am Tage bis zu 100.000 Lux und sinkt dann in der Nacht auf wenige Millilux. Photorezeptoren haben somit extreme Veränderungen in der Reizintensität zu verarbeiten. Im Falle der Augen des Skorpions ist dies kein Problem; die Schirmpigmentzellen regeln die Empfindlichkeit der Augen, indem sie den Lichteinfall auf die Rhabdomere steuern. Während der Tagphase liegen die Schirmpigmente in den distalen Enden der Zellen und schützen die hochempfindlichen Sinneszellen vor zu starker Strahlung. Während der Dämmerung wandern die Pigmente dann vom distalen zum proximalen Teil der Rhabdomere, dem Licht wird zusehends der Zutritt ermöglichst. Der Photorezeptor steuert somit seiner sensitivsten Phase entgegen. Das Rhabdom wird also tagsüber gegen das einfallende Licht abgeschirmt (Fleissner, 1974; Fleissner und Fleissner, 1998a,b).

Schirmpigmentwanderungen unterliegen der inneren Uhr

Diese periodischen Wanderungen der Pigmente innerhalb der Sehzellen bleiben auch unter Konstantbedingungen erhalten und sind somit Ausdruck einer endogen gesteuerten Uhr (Betz, 1980). Im mikroskopischen Präparat, bei welchem der Zustand im Auge zu unterschiedlichen Zeiten fixiert ist, wird somit die Tageszeit „histologisch sichtbar" gemacht. Abbildung 2 zeigt einen Längsschnitt durch ein Medianauge der nordamerikanischen Skorpionsart *Paruroctonus mesaensis*. In Bild 2a ist die Tagphase zu sehen, das Pigment ist in dem Bereich der Sehzellen konzentriert, aus dem das Licht einfällt. Während der Dämmerung be-

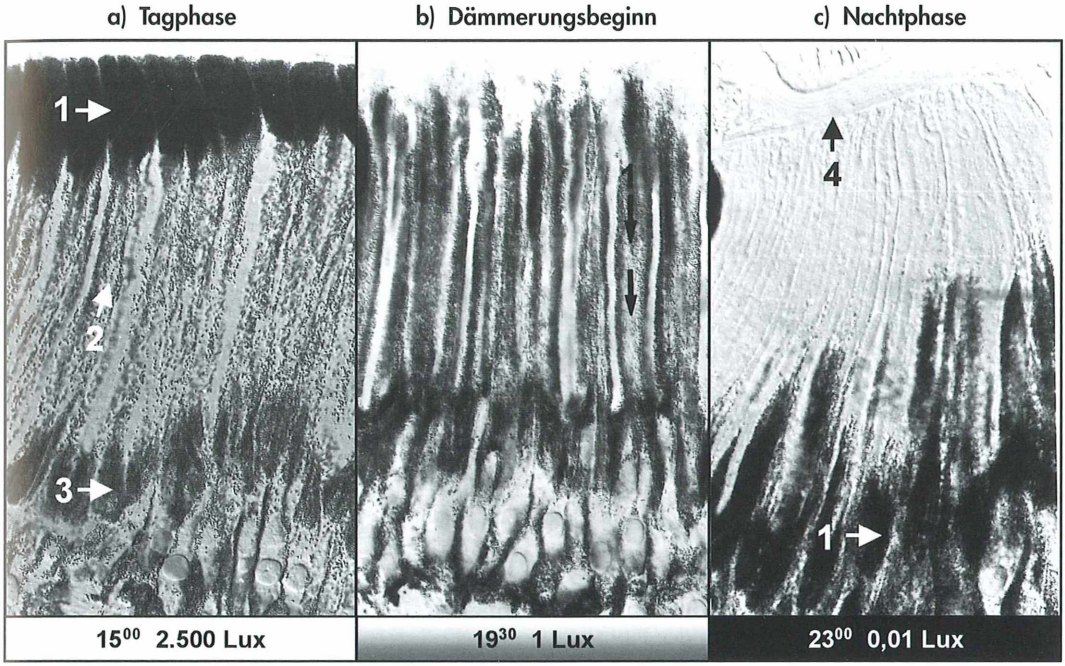


Abb. 2: Tageszeitliche Wanderung der Schirmpigmente im Medianauge von *Paruroctonus mesaensis*. 1 Schirmpigment, 2 Rhabdomer, 3 Sehzelle, 4 Cornea.

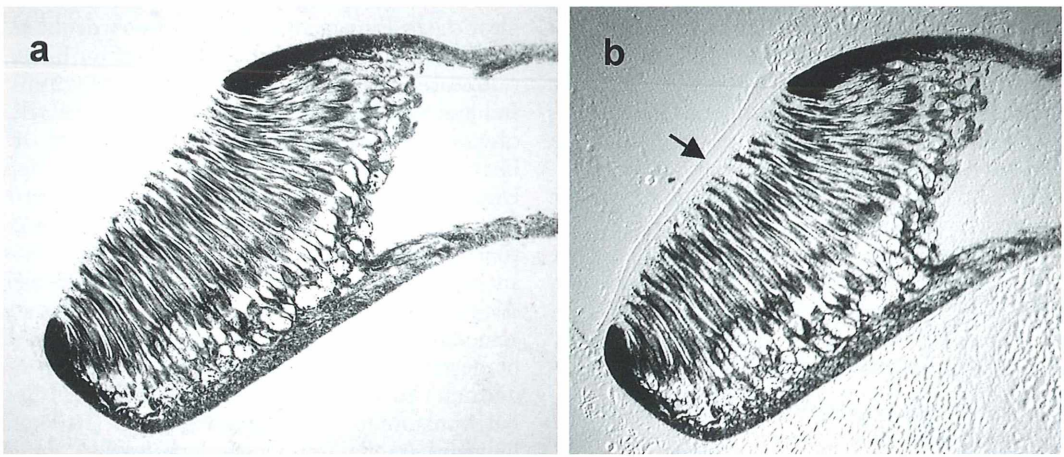


Abb. 3: Übersichtsaufnahme eines Querschnittes durch das linke Medianauge von *Paruroctonus mesaensis* während der Dämmerungsphase um 20:30 Uhr lokale Zeit. a Durchlicht-Hellfeld, b Differenz-Interferenzkontrast mit deutlich sichtbarer Cornea.

ginnt die Wanderung der Pigmentgranula in den basalen Teil (Abb. 2b). Zu Beginn der Dunkelheit ist das Pigment gänzlich zum basalen Teil gewandert, das Auge hat seine maximale Empfindlichkeit erreicht, da nun alles einfallende Licht auf die Rezeptoren gelangen kann (Abb. 2c). Die innere Uhr hat über die neuronale Verschaltung der Sinnesreize ein eindeutiges Zeitsignal aus der Umwelt erhalten, denn die Phase der Dämmerung ist der markanteste

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Bereich im Tagesgang des Lichtes, da sich hier die Helligkeit über mehrere Dekaden innerhalb kürzester Zeit ändert (Lüttgen und Fleissner, 1990; Lüttgen et al., 1991). Dieser markante Übergang ist für das biologische System der inneren Uhr eindeutig abgrenzbar von Helligkeitsschwankungen, die zum Beispiel durch Bewölkung oder andere kurzzeitige Ereignisse verursacht werden.

Endogene Rhythmen werden mit der Umwelt synchronisiert

Unter natürlichen Zeitgeberbedingungen, wie beim vorliegenden Präparat, ist die endogene Rhythmik mit dem Zeitgeber Licht synchronisiert. Werden vergleichbare Präparate zu denselben Zeiten hergestellt, das Versuchobjekt aber unter konstanten Bedingungen gehalten, nehmen die Pigmente in den Augen die gleichen Positionen ein wie unter dem Einfluss vom normalen Tageslicht. Die Wanderung der Pigmente mit den typischen Phasen ist ein Beweis für die endogene Rhythmik der inneren Uhr. Befand sich das Tier über längere Zeit unter konstanten Bedingungen, zeigt sich eine Veränderung der Periodenlänge, indem die Uhrzeit, zu denen die genannten Phasen der Pigmentstellungen erreicht werden, täglich um einen bestimmten Betrag verschoben ist. Die Rhythmik ist nicht mehr synchronisiert und befindet sich im so genannten Freilauf. Dies ist dann der eindeutige Beweis für die unabhängige, durch eine endogene Uhr gesteuerte Periodizität, die ja unter normalen Bedingungen mit der Umwelt im Gleichklang wäre, also mit einem Zeitgeber synchronisiert wäre (Fleissner und Fleissner, 1998a,b). Die wichtigsten Voraussetzungen, die ein Zeitgeber erfüllen muss, sind folgende (Heldmaier und Neuweiler, 2003):

- Er muss eine tagesperiodische Modulation aufweisen,
- es muss eine im Dynamikbereich des Rezeptorsystems liegende Amplitude vorkommen,
- es muss ein Signal-Rausch-Verhältnis bestehen, das dem Sinnessystem des Empfängers noch eine eindeutige Signaldetektion ermöglicht
- und der Zeitgeberreferenzpunkt muss eindeutig wahrnehmbar sein.

Neben diesen tagesperiodischen Wechseln kann ein Zeitgeber auch Informationen über die Tageslänge beinhalten, dies ist für die Synchronisation der Jahresrhythmen, zum Beispiel für den Winterschlaf, von Bedeutung. Das natürliche Tageslicht erfüllt alle oben genannten Bedingungen in idealer Weise. Kein anderer abiotischer Faktor wiederholt sich mit einer solchen Präzision und weist einen von Störungen so wenig maskierten Zeitreferenzpunkt auf wie der tägliche Wechsel der Lichtverhältnisse. Die Morgen- und Abenddämmerungen sind dabei Zeitmarken, die den genannten Bedingungen am besten entsprechen. Einfache Augen beziehungsweise photorezeptive Strukturen, die kein räumliches Sehen oder Bewegungssehen ermöglichen, haben oftmals die Funktion, zeitliche Informationen aus der Umwelt an die innere Uhr zu senden. So sind beispielsweise die einfach gebauten Lateralaugen beim nordafrikanischen Dickschwanzskorpion *Androctonus australis* auch extrem sensitive Photorezeptoren. Diese können nachweislich als Zeitgebereingang zur Synchronisation der inneren Uhr dienen (Fleissner, 1977). Welche Aufgabenteilung die unterschiedlichen Augentypen bei der Synchronisation der biologischen Uhren spielen, ist noch nicht geklärt. Innere Uhren sind in der Regel als Multioszillator-Systeme organisiert. Hier ist eine Aufgabenteilung verschiedener photischer Eingangskanäle durchaus denkbar. Beispiele solcher hochempfindlicher Lichtrezeptoren, welche die circadiane Rhythmik steuern können, gibt es im Tierreich vielfach, obwohl dies noch wenig untersucht worden ist. Hier ist speziell bei Wirbellosen für zukünftige Untersuchungen noch ein reiches Betätigungsfeld gegeben, besonders wenn man die Funktion von nichtvisuellen Photorezeptoren untersucht. Entscheidend ist es, den Faktor Zeit bei der Präparation zu beachten. Es muss zu unterschiedlichen Zeiten ein gleichartiges Präparat hergestellt werden, um den Einfluss von periodischen Umweltreizen zu erkennen. Erfolgt dies bei konstanten Umweltbedingungen (Dunkelheit und stabile Temperaturverhältnisse), dann lässt sich nicht nur die äußerlich gesteuerte Tagesperiodik dokumentieren, sondern auch die endogene Rhythmik.

Hinweise zur Methode und Präparationstechnik

Im Rahmen der Untersuchungen wurden Exemplare von *Paruroctonus mesaensis* aus

dem natürlichen Habitat im Coachella Valley in der Sonora-Wüste (Kalifornien) entnommen und in künstliche Skorpionhöhlen gesetzt, die den natürlichen Bauten der Tiere nahe kamen. Diese standen in einem Versuchsstand, der geschützt vor direkter thermischer Einstrahlung war. Die Öffnungen der Höhlen wurden mit Klarsichtfolie verschlossen, um das Entweichen der Tiere zu verhindern. Die Eingangsbereiche waren in Richtung Süden exponiert. Dabei waren die Höhlen dem natürlichen Tagesgang des Lichtes und der Temperatur ausgesetzt. Die Tiere wurden nach Einsetzen in die Terrarien zur Akklimatisierung zwei Tage in den Höhlen belassen. Diese Haltungsbedingungen bedeuteten für die Tiere, dass sie entsprechend ihrer Präferenz für eine Lichtintensität einen Aufenthaltsort frei wählen konnten. Die Temperatur entsprach weitgehend dem natürlichen Tagesgang. Eine Überhitzung in den Behältern wurde durch das Einsetzen der Höhle in Sand verhindert.

Um den momentanen Zustand der Pigmentzellen zu fixieren, wurden die Skorpione zur weiteren Untersuchung entnommen und schnell getötet, indem sie für 10 Sekunden in siedendes Wasser gegeben wurden. Anschließend erfolgte eine Dekapitierung und sofortige Injektion von Bouin in das Prosoma. Danach wurde für einige Stunden zur Ausfixierung in Bouin überführt. Anschließend erfolgte die Verwahrung der Proben bis zur weiteren Verarbeitung bei 12 Grad Celsius in einem Laborkühlschrank. Die exakte Uhrzeit für jedes Präparat wurde dokumentiert. Die weitere Präparation erfolgte nach standardisierter Entwässerung in Äthanol und Übertragung in ein Intermedium mit dem Einschluss in das Kunstharz Araldit. Mit einem Autocut Mikrotom wurden nach Aushärten der Präparate Serienschnitte von 5–10 µm Dicke angefertigt. Der Einschluss als Dauerpräparat auf Standard-Objektträgern erfolgte mit Entellan. Eine Färbung wurde nicht durchgeführt. Abbildung 1 wurde mit einer Kleinbildspiegelreflexkamera auf einem 100-ASA Diafilm mit einer Makrooptik und Zwischenringen aufgenommen. Die Abbildungen 2a–c wurden an einem Polyvar Mikroskop von Reichert mit der Systemkamera auf einem 25-ASA Schwarzweißfilm aufgenommen und Abbildung 3 mit einer 3,1 Megapixel Kompaktdigitalkamera am Mikroskop Jenamed 2.

Literaturhinweise

Betz, U.: Histologie der Schirmpigmentwanderung im Medianauge des Skorpions *Androctonus australis* L. Diplomarbeit an der J. W. G. Universität Frankfurt Main, 1980.

Bünning, E.: Die physiologische Uhr. Springer Verlag, Heidelberg 1977.

Fleissner, G.: Untersuchungen zur Sehphysiologie der Skorpione. Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft *61*, 375–380 (1968).

Fleissner, G.: Circadiane Adaptation und Schirmpigmentverlagerung in den Sehzellen der Medianaugen von *Androctonus australis* L. (Buthidae, Scorpiones). Journal of Comparative Physiology *91*, 399–416 (1974).

Fleissner, G.: Scorpion lateral eyes: extremely sensitive receptors of Zeitgeber stimuli. Journal of Comparative Physiology *118*, 101–108 (1977).

Fleissner, G., Fleissner, G.: Natural photic Zeitgeber signals and underlying neuronal mechanisms in scorpions. In: Biological Clocks. Mechanisms and Applications. Proceedings of the International Congress on Chronobiology, Paris, 7–11 September 1997. Elsevier, Amsterdam 1998a.

Fleissner, G., Fleissner, G.: Efferent control of visual sensitivity in arthropod eyes: with emphasis on circadian rhythms. Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1998b.

Heldmaier, G., Neuweiler, G.: Vergleichende Tierphysiologie, Band 1 Neuro- und Sinnesphysiologie. Springer Verlag, Berlin 2003.

Hesse, R.: Das Sehen der niederen Tiere. Gustav Fischer Verlag, Jena 1908.

Lüttgen, M., Fleissner, G.: Das circadiane Verhalten von Skorpionen unter natürlichen und künstlichen Zeitgebern. Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft *83*, 653–654 (1990).

Lüttgen, M., Fleissner, G., Fleissner, G.: Photoentrainment of circadian rhythms in nature and laboratory. Are LD cycles and DD experiments biologically suitable? Journal of Interdisciplinary Cycle Research *22*, 147 (1991).

Meyer-Rochow, V. B.: Photoreceptors and photoenvironments. Compound eye: circadian rhythmicity, illumination and obscurity. In: Eguchi, E., Tominaga, Y. (eds.): Atlas of arthropod sensory receptors, chapter III-2, S. 97–73. Springer Verlag, Tokyo 1999.

Pyza, E., Meinertzhagen, I. A.: Circadian rhythms in screening pigment and invaginating organelles in photoreceptor terminals of the housefly's first optic neuropile. Journal of Neurobiology *32*, 517–529 (1997).

Reisenman, C. E., Insausti, T. C., Lazzari, C. R.: Light-induced and circadian changes in the compound eye of the haematophagus bug *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae). The Journal of Experimental Biology *205*, 201–210 (2002).

Verfasser: Dr. Michael Lüttgen, Mikrobiologische Vereinigung München, Ligsalzstraße 31, 80339 München, E-Mail: Dr.Luettgen@t-online.de

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Kurze Mitteilung

Spitzenwachstum der Baumwollfaser

Baumwolle ist der wichtigste Textilrohstoff der Erde; jährlich werden etwa 215 Mio. Tonnen produziert. Die Baumwollfasern sind einzellige Haare, die aus der Epidermis der Baumwollsamen auswachsen und viele Zentimeter lang werden. Die langfaserigen Arten (Ägyptische Baumwolle, *Gossypium barbadense*) liefern etwa 5 cm lange Fasern, die kurzfaserigen Spezies (*Gossypium hirsutum*) haben etwa 2 cm lange Fasern. Die längsten Fasern sind die wertvollsten. Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass während ihres Wachstums die Verbindungskanäle (Plasmodesmata) zu den Nachbarzellen der Samenhaut verschlossen gehalten werden. Hierin scheint das Geheimnis der langen Fasern zu liegen, dessen Lösung sich neuerdings wieder Forscher gewidmet haben.

Gene sind für die Faserqualität verantwortlich, sodass Gentechnologie neue Wege verspricht. Von den etwa 80.000 Epidermiszellen eines Baumwollsamens kommen etwa 15.000 bis 20.000 für die Faserbildung infrage. In etwa 20 Tagen können sie auswachsen und sich strecken. Diese Samenhaare gehören zu den längsten Zellen, die das Pflanzenreich kennt. Die Forscher haben jetzt festgestellt, dass dabei das Enzym Saccharose-Synthase eine Schlüsselrolle spielt (Abb. 1). Dieses Enzym spaltet die in großer Menge in die junge Faserzelle eingeschleuste Saccharose (Rohrzucker, ein Disaccharid) in zwei einfache Zucker (Fructose, Fruchtzucker; UDP-Glucose) auf. Dadurch kommt es zu einer raschen Erhöhung des osmotischen Wertes in der Zelle, das heißt die Saugkraft für Wasser wird verstärkt, wodurch sich die Zelle an der Spitze – ihrer schwächsten Stelle – ausdehnen kann. Dieser Druck kann sich aber nur aufbauen, wenn die Plasmodesmata zu den benachbarten Zellen verschlossen sind. Dies erfolgt über die Einlagerung von Kallose, sodass der Druck sich in der Zelle erhöhen kann.

Baumwollsorten mit kurzen Fasern verfügen über ein anderes Enzym, eine Glukanase, welche zum vorzeitigen Abbau der Kallosepfropfen führt. Dadurch sinkt der osmotische Druck in dem sich streckenden Haar, sodass die Verlängerung der Faser frühzeitig beendet wird. Den Aufbau und den Abbau der Kallosepfropfen in den Samenhaaren kann man mikroskopisch leicht beobachten. Mit gentechnischen Methoden ist es nun den Forschern gelungen, Pflanzen mit einer höheren Konzentration der Saccharose-Synthase herzustellen, sodass eine höhere osmotisch wirksame Konzentration der Zucker in der wachsenden Zelle erreicht wird. Erfolg: Die gentechnisch veränderten Zellen produzieren längere – und damit wertvollere – Baumwollfasern.

Literaturhinweis

Anonymus: Edle Fasern aus „weißem Gold". Pflanzenbiotechnologie soll Qualität von Baumwolle verbessern. Research – Bayer-Forschungsmagazin *17*, 60–65 (2005).

H. F. Linskens, Nijmegen

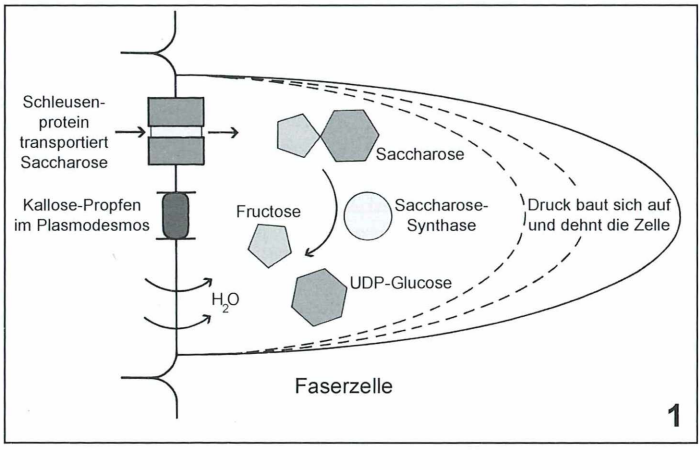


Abb. 1: Die Erhöhung des osmotischen Druckes im Innern der Faser ermöglicht das „Aufpumpen", das zum Spitzenwachstum führt. Die in die Faserzelle eingeschleusten Saccharose-Moleküle werden durch das Enzym Saccharose-Synthetase in 2 kleinere Zucker (Fructose, UDP-Glucose) gespalten, sodass der innere osmotische Druck erhöht wird, der zum Einströmen von Wasser führt. Da die Verbindungskanäle (Plasmodesmata) durch Kallose verstopft sind, führt die Druckerhöhung zur Ausdehnung der Zelle an der Spitze, wo sich die schwachen Stellen der Zellwand befinden.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Zeichnen am Mikroskop – Erleben mit dem Bleistift

Wolfgang Bettighofer

Die Welt des Mikrokosmos ist vielschichtig und formenreich. Die Eindrücke sind es oftmals wert, festgehalten zu werden, sei es fotografisch, sei es zeichnerisch. Aber wie gelangt man vom betrachteten Bild zur Zeichnung? Wie überträgt man die Objektproportionen auf das Zeichenblatt, und wie erzeugt man gegebenenfalls Tiefe im Bild?

Im vorliegenden Artikel werden zunächst verschiedenartige Hilfsmittel vorgestellt, deren man sich beim Zeichnen am Mikroskop bedienen kann, um Objekt und Zeichenpapier gleichzeitig zu sehen. Sodann wird eine Brücke geschlagen zwischen der Mikrofotografie und handgezeichneter Grafik und gezeigt, wie sich Konturen von einem digitalen Skizzenbild abnehmen lassen. Schließlich wird beschrieben, wie an Stelle der klassischen Endbearbeitung mit Tuschestiften der PC zusammen mit Bildbearbeitungs-Programmen eingesetzt werden kann, um von der Rohfassung einer Bleistiftzeichnung zum ansprechenden Ergebnis zu gelangen.

Welchen Stellenwert genießt heute im Zeitalter der digitalen Bildverarbeitung das Zeichnen der am Mikroskop betrachteten Objekte? Es wurde immer wieder darauf hingewiesen (Rietschel, 1973a–c, 1974, 1978, 1980; Nultsch und Grahle, 1973), dass der Prozess des Zeichnens und die dabei notwendige kognitive Leistung (das Erfassen, Trennen und Übertragen von Relevantem) vor allem der zeichnenden Person selbst zu Gute kommt. Des Weiteren kann in der Zeichnung Wesentliches aus mehreren Objekteinstellungen akkumuliert werden.

In der Fotografie ist man darauf angewiesen, dass sich alles, was man darstellen möchte, in einer Einstellung und zudem noch auf einer Schärfenebene befindet. Dabei soll nicht verschwiegen werden, dass das Kriterium „Wichtige Bildteile auf einer Schärfenebene" mittlerweile aufgeweicht ist, da es seit einigen Jahren Computerprogramme (so genannte Stacking-Software) gibt, die aus einer Reihe von Schichtaufnahmen jeweils die scharfen Partien extrahieren und in einem Ergebnisbild zusammenfassen können. Die Ergebnisqualität schwankt je nach Aufnahmematerial und Spezifitäten des jeweils verwendeten Programms. Die Leistungen dieser (meist kostenfrei im Internet verfügbaren) Softwaresysteme sind jedenfalls erstaunlich. Weitere Informationen zu diesem Thema finden sich bei Günther (2002, 2006).

Zweidimensionale oder dreidimensionale Darstellung?

Zu Beginn gilt es zu entscheiden, ob wir auf eine zweidimensionale Darstellung (2D) abzielen oder ob die räumliche Struktur unseres Objekts (3D) herausgearbeitet werden soll. Geht es um 2D-Darstellung, so sind nach Rietschel (1973a–c, 1974, 1978, 1980) und Nultsch und Grahle (1973) klare Linien unterschiedlicher Strichstärke für die inneren und äußeren Konturen zu verwenden. Nach der althergebrachten akademischen Zeichenvorschrift ist es untersagt, die Dichte eines Objekts mittels Schattierung oder Schraffur zu symbolisieren. Stattdessen sollte die erwünschte Wirkung durch Punktieren erreicht werden. Die Schraffur wurde abgelehnt, da sie keine Entsprechung im Objekt besitzt. Es ist daher (auch heute) ratsam, dieses Mittel nicht einzusetzen. Schattierungen können jedoch sehr wohl den Eindruck unterschiedlicher Dichte realistisch widerspiegeln. Dass Schattierung verpönt war, lag an den damaligen Druck- und Vervielfältigungstechniken; die Verarbeitung von Halbtonvorlagen bereitete Schwierigkeiten. Für uns gibt es heute keinen Grund mehr, Schattierungen prinzipiell zu meiden.

Soll beispielsweise ein Protist oder ein kleiner Mehrzeller räumlich dargestellt werden, so gilt

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

es vor allem, eine Illusion von Tiefe zu erzeugen. Gute Ideen kann man sich beim Altmeister der dreidimensionalen Darstellung von Protisten, Ernst Haeckel, holen (Haeckel, 1904). In der schönen neuen Internetwelt ist es leicht und bequem, sich Abbildungen seiner Stiche aus dem Werk *Kunstformen der Natur* zu laden und anzusehen (Stüber, Internet-Link). Haeckel zeigt uns, dass es zur Tiefendarstellung keiner Verwendung von Schraffur oder ähnlichen zeichnerischen Kunstgriffen bedarf. Bei unseren Arbeiten sollten wir darauf abzielen, so objektähnlich wie möglich zu bleiben und die Illusion der dritten Dimension durch das Spiel von Licht und Schatten und dem Mittel der perspektivischen Verkürzung zu erzeugen.

Konventionelle Hilfsmittel

Als Grundausstattung benötigen wir glattes, weißes Papier, Bleistifte und Radiergummi. Viel mehr wird nicht gebraucht. Es haben sich Minenstifte bewährt. Für die Konturen benutze ich die Minenhärten 3H und HB, für Punktierungen bei 2D-Darstellungen werden beispielsweise Minen der Härte 3B eingesetzt. Zu Schattierungen und Punktierungen im größeren Stil setze ich auch Stifte der Härte 9B ein (beispielsweise PITT Graphite Pure 9B).

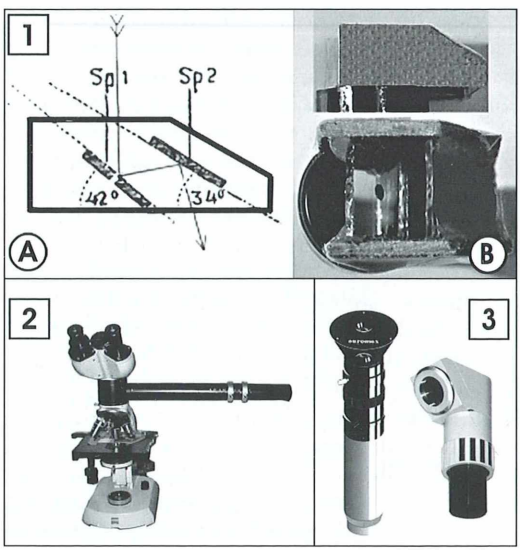


Abb. 1: A Risszeichnung des Zeichenapparats nach Ziegenbalg, verändert. B Prototyp. – Abb. 2: Zeichenapparat für das Zeiss Standard Stativ. – Abb. 3: Beispiele von Zeichenokularen der Firmen Euromex und Carl Zeiss, Jena.

Um maßgerechtes Zeichnen zu unterstützen, kann man sich unterschiedlicher Hilfsmittel bedienen.

Okular-Netzplättchen: Im Fachhandel sind Netzmikrometer erhältlich, die ins Okular eingelegt werden können. Auf das Zeichenpapier wird ein ebenso proportioniertes Gitter aufgebracht (fein, mit 3H-Mine), die Kacheln werden Schritt für Schritt übertragen.

Zeichenapparat nach Ziegenbalg: Im MIKROKOSMOS (Ziegenbalg, 1923) wurde ein einfach und kostengünstig herstellbares Hilfsmittel beschrieben, welches ich persönlich in früherer Zeit, als es noch keine Digitalkameras gab, sehr gerne benutzt habe. Der Okularaufsatz ist einfach herstellbar. Man benötigt dünnes Sperrholz oder Hartfasermaterial und einen kleinen Handtaschenspiegel sowie Glasschneider, Laubsäge und Epoxydharzkleber. Wer geschickt mit der Heißsiegel-Klebepistole umgeht, kann diese auch verwenden. Eine Steckhülle zur Montage ans Okular kann man sich leicht aus Tonpapier oder Weich-PVC-Bändern aus dem Baumarkt herstellen. Die Verbindung zwischen Steckhülle und Spiegelkästchen besorgt im einfachsten Fall ein Klebestreifen.

Die Spiegelchen werden in der Größe von circa 12 × 12 mm geschnitten und wie auf der Risszeichnung (Abb. 1A) angegeben montiert. Die Spiegelflächen sind einander zugekehrt, siehe Strahlengang. Die Ausmaße der Holzbrettchen sind circa 35 × 12 mm. Spiegel 1 wird im Winkel von 42°, Spiegel 2 im Winkel von 34° zur Horizontalen montiert. Bei Spiegel 1 ist genau in der Mitte eine Fläche mit einem Durchmesser von 1,5–2 mm freizukratzen. Um die Mitte sicher zu treffen, markieren wir die Diagonalen auf der Rückseite des Spiegels mit einem Bleistift.

Blickt man durch den Zeichenapparat, so sieht man synoptisch das Mikroskopbild durch die kleine Spiegelöffnung und die Tischfläche rechts neben dem Mikroskop über Spiegel 1 und Spiegel 2. So kann man bequem alle gesehenen Konturen und Differenzierungen auf das Papier übertragen.

Dieser Spiegelkasten wurde in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts entwickelt und kann nur dann optimal genutzt werden, wenn die Ebenen des virtuellen Mikroskopbildes und die des Zeichenpapiers parallel sind. Wir benötigen

© Elsevier GmbH, München

also entweder einen Geradtubus oder eine weitere kleine Bastelarbeit (eine Zeichenblattablage in Pultform), mit deren Hilfe wir das Papier parallel zur Bildebene befestigen können. Der Prototyp (Abb. 1B) wurde aus einfachsten Mitteln innerhalb einer Stunde hergestellt und erfüllt seinen Zweck.

Zeichenapparate und Zeichenokulare von Mikroskopherstellern

Zeichenapparate sind speziell für Produktlinien der jeweiligen Hersteller angepasst, sind komfortabel, gegebenenfalls teuer und haben auf jeden Fall den Vorteil, dass sie unabhängig von Gerad- oder Schrägtubus nutzbar sind. Allerdings ist es nicht bei allen Typen einfach, die Helligkeit des Bildes und des Zeichenpapiers in Einklang zu bringen. Zeiss-Geräte haben zu diesem Zweck beispielsweise ein eingebautes, drehbares Polfilter. Abbildung 2 zeigt ein Beispiel einer Ausführung als Zwischentubus. Daneben existieren spezielle Zeichenokulare, die meist preisgünstiger sind und herstellerunabhängig eingesetzt werden können (Abb. 3).
Ganz ohne Zusatzapparate kann man auch die kostengünstige Uralt-Methode anwenden, wenn man einen Senkrechttubus besitzt: 1. Glasscheibe auf den Tisch, Scheibe überstehen lassen; 2. Gegengewicht wie zum Beispiel Beleuchtungstransformator oder Wasserflasche auf die Glasscheibe stellen; 3. Mikroskop auf den Fußboden; 4. Bild mittels Transparentpapier abnehmen.

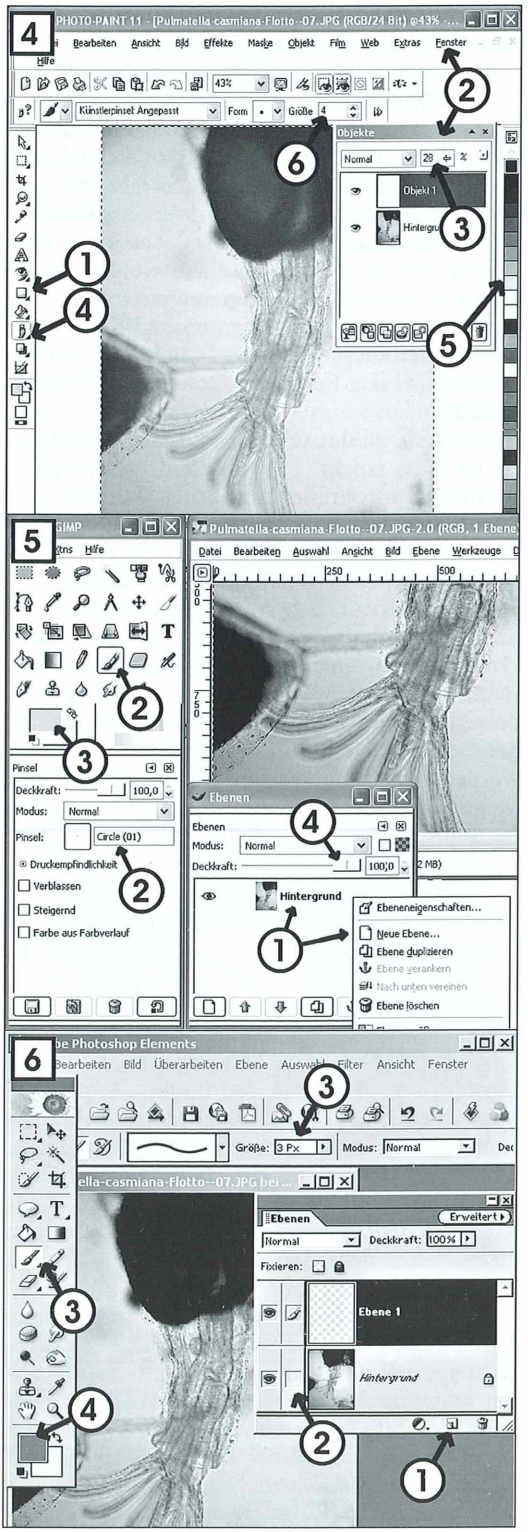
Digitalkamera und Bildbearbeitungs-Programm als Hilfsmittel

Für diejenigen, die eine Digitalkamera an ihr Mikroskop adaptiert haben, liegt es nahe, diese als elektronisches Skizzenbuch zu verwenden. Hier soll nun besprochen werden, wie von Digitalaufnahmen mittels eines „elektronischen Pauspapiers“ maßstabsgenau Konturen (und beliebige weitere Details) abgegriffen werden können.
Für diese Arbeitsgänge benötigen wir Erfahrung in der Nutzung von Bildbearbeitungs-Programmen (DTP-Software) wie etwa Corel Photopaint, Adobe Photoshop (die kostengünstige Elements-Version reicht für unsere Zwecke aus) oder dem kostenfrei erhältlichen GIMP von GNU Soft (GIMP, Internet-Link). Wie verfahren werden kann, wird an Beispielen erläutert. Dabei kann lediglich exemplarisch auf Schlüsselfunktionen der jeweiligen DTP-Programme eingegangen werden. Die Programme sind alle so funktionenreich, dass es auch andere Wege als die beschriebenen gibt, um ans Ziel zu kommen. In neueren Versionen dieser Softwarepakete wird die Oberfläche unter Umständen etwas anders aussehen, weitere Funktionen könnten dazugekommen oder etwas anders gruppiert sein. Die grundsätzliche Vorgehensweise ändert sich jedoch nicht. Speziell zu GIMP 2 sei das Buch von Gölker (2002) empfohlen.
Zunächst wird das Objekt (im Beispiel ein kurz zuvor aus einem Flottoblasten geschlüpftes Bryozoon) fotografiert, dann das Bild auf den PC übertragen und in das Bildbearbeitungsprogramm eingelesen. Mit Hilfe des DTP-Systems legt man eine so genannte Layer beziehungsweise Ebene als „elektronisches Pauspapier“ darüber und überträgt Konturen und andere Objektdetails mit dem „Pointing Device“ (Maus oder Griffel eines Zeichen-Tabletts) auf diese Ebene. Für die nötigen Arbeitschritte in den oben genannten DTP-Softwarepaketen werden Anleitungsskizzen wiedergegeben. Die Wege über die Menüstruktur zur benötigten Funktion werden wie folgt notiert.

Vorgehensweise bei verschiedenen Programmen

Um beispielsweise in Corel Photopaint11 Helligkeit, Kontrast und Intensität eines Bildes zu ändern, muss man im Hauptmenü „Bild“ anklicken, im Bild-Menü den Punkt „Anpassen“ auswählen und im Anpassen-Menü die Funktion „Helligkeit/Kontrast/Intensität“ nutzen. Dies wird dargestellt als „Bild/Anpassen/Helligkeit-Kontrast-Intensität“, wobei die „/“ als Trennzeichen zwischen den Menühierarchien zu verstehen sind. Zwischen diesen Separatoren stehen die Namen der Menüpunkte.
„Mausklick“ meint den Druck auf die linke Maus-Taste. Soll die rechte gedrückt werden, wird speziell darauf hingewiesen. Generell gelten meine technischen Hinweise für die Nutzung der MS-Windows-Plattform. Bei der Linux-Oberfläche „KDE“, vor allem aber beim MacIntosh differiert die Art der Mausbenutzung etwas.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/



Vorgehen bei Corel Photopaint 11 (Abb. 4):

1. Bild öffnen;
2. Rechteck mit Füllfarbe „weiß" über das Bild legen (1);
3. unter Fenster/Andockfenster das „Objekte"-Andockfenster öffnen (2);
4. im Andockfenster die Deckkraft des Rechtecks verringern, so dass das Bild durchscheint (3).

Der Deckkraftschieber muss abhängig von der Dichte der Vorlage eingestellt werden. Beim Beispielbild zeigte sich der Wert 50% optimal. Sodann werden mit dem Malstift (4), dessen Farbe auf helles Grau eingestellt wird (5), und dessen Stärke bei (6) reguliert werden kann, wie gewünscht Konturen abgegriffen. Um das Ergebnis zu prüfen, muss die Deckkraft fallweise wieder auf 80–100% gestellt werden. Dabei kann man auch nacheinander weitere Bilder unterlegen, deren Fokussierhöhen unterschiedlich sind, so dass man Strukturen abzeichnen kann, die sich über unterschiedliche Höhenschichten erstrecken. Mit der Zoom-Funktion können Bildbereiche beliebig vergrößert und somit das Abzeichnen erleichtert werden.

Vorgehen bei GIMP (Abb. 5):

1. Bild öffnen;
2. im Ebenen-Fenster mit rechter Maus-Taste auf „Hintergrund" klicken und „neue Ebene" erstellen (1), Farbe „weiß";
3. Pinsel wählen (weich, Typ „Circle(01)"), siehe (2);
4. Pinselfarbe durch Doppelklick auf die Vordergrund-Farbanzeige auf „grau" stellen (beispielsweise, H = 0, S = 0, V = 80), siehe (3);
5. Deckkraft der neuen Ebene reduzieren (4)

Vorgehen bei Photoshop Elements 2.0 (Abb. 6):

1. Bild öffnen;
2. im Ebenen-Fenster bei (1) neue Ebene erzeugen, Hintergrund vor Überschreiben schützen (2);
3. Pinsel wählen (Typ Standard, 3Px) (3);
4. Pinselfarbe durch Doppelklick auf die Vordergrund-Farbanzeige auf „grau" stellen (4).

Abb. 4: Digitales Abpausen von Konturen und sonstigen Bildelementen mit Corel Photopaint 11. – Abb. 5: Arbeitsfenster von GIMP 2. – Abb. 6: Arbeitsfenster von Adobe Photoshop Elements 2.0.

© Elsevier GmbH, München. Nur für den persönlichen Gebrauch. Urheberrechtlich geschützt.

Kontrolle der Zeichnung

Ziel des Abgreifens von (linienförmigen) Elementen sollte es nicht zwingend sein, alle möglichen interessierenden Strukturen durch diese Lichtpaustechnik zu übernehmen, sondern nur die wichtigsten (Abb. 7). Nach Beendigung der Arbeit wird das Gerüstbild ausgedruckt (dazu Deckkraft wieder auf 100% stellen und die Ebene mit den Konturen ohne das Hintergrundbild drucken), um dann mit den Bleistiften unter der visuellen Kontrolle der digitalen Skizzenbilder weiterzuzeichnen. Hat man ein Dauerpräparat oder ein stabiles Frischpräparat, können visuelle Kontrolle und Zeichnen von Detailstrukturen auch wieder am Mikroskop geschehen. Das hat Vorteile, denn es ist nicht so einfach, alle interessierenden Strukturen (über die Fokusebenen hinweg) zu fotografieren. Es ergibt sich oft beim Zeichnen, dass man Details entdeckt, die sich darzustellen lohnen. Auf diese Details und ihre Ausdehnung über die Fokusebenen hat man möglicherweise bei der Aufnahme der Skizzenbilder nicht geachtet. Weiter ist es oft so, dass gewisse Details an anderen analogen Objekten beziehungsweise Objektstellen besser studiert werden können, die der Zeichner – anders als der Fotograf – leicht in seine Grafik einbauen kann.
Im Grunde liegt der Wert dieses Vorgehens darin, möglichst viele linienhafte Strukturen lage- und maßstabsgetreu vom Objektbild abzunehmen, so dass man für die Details eine möglichst genaue Orientierung für Lage und Größe hat. Alle digitalisierten Konturen werden mit dem Bleistift nachgezogen, um ein einheitliches Erscheinungsbild zu erhalten. Im endgültigen Bild sollen keine Reste der gedruckten Konturen mehr zu sehen sein. Deshalb wurde oben vorgeschlagen, die Malfarbe auch auf „helles Grau" zu stellen.

Der digitale Zeichenstift

Das oben geschilderte Abgreifen der Bildstrukturen auf eine durchsichtige, über das Bild gelegte Ebene geschieht mit dem am PC eingerichteten Pointing Device (Zeigergerät). Im einfachsten Fall ist das die Maus. Wer eine ruhige Hand und Erfahrung mit dem Mausumgang am PC hat, kann den digitalen Zeichenstift damit führen. Das Liniengerüst im Beispiel ist so in wenigen Minuten erstellt worden. Ich habe festgestellt, dass dies am einfachsten geht, wenn man den Mauszeiger auf maximale Geschwindigkeit stellt und das Gerät so mit der Hand umfasst, dass der Handballen eine großflächige Verbindung zum Maus-Pad hat. Damit ist es mir persönlich möglich, die Bewegungen der Hand gut zu kontrollieren. Voraussetzung ist ein gutes Maus-Pad mit Textilauflage, so dass die Hand nicht klebt, und eine optische Maus.
Als komfortable Alternative gibt es Zeichentabletts (zum Beispiel preisgünstige DIN A6-Tabletts von Wacom, Genius, Aiptec oder anderen Herstellern, die circa 30 bis 50 Euro kosten) mit speziellen elektronischen Zeichen-

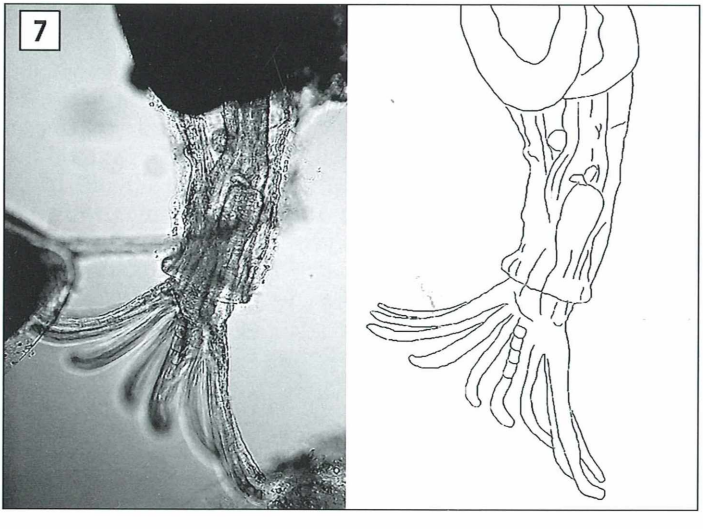


Abb. 7: Vorlage und Ergebnis des elektronischen Abpausvorgangs. Die Konturen sind zur Verdeutlichung kontrastreich gedruckt.

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

stiften. Sollte noch keine geeignete DTP-Software vorhanden sein, wäre beispielsweise das Paket „Wacom Graphire4 Studio" interessant, da es neben einem höherwertigen Tablett eine Lizenz von Adobe Photoshop Elements V3 einschließt.

Endbearbeitung der Zeichnung

Nachdem der Entwurf mit Bleistift angefertigt ist, nutzt man üblicherweise Tuschestifte unterschiedlicher Strichstärken (0,13 mm, 0,18 mm, 0,25 mm, 0,35 mm, 0,5 mm, 0,7 mm) wie beispielsweise Rapidographen von Rotring, um die Kontraste zu erhöhen und die Zeichnung widerstandsfähig gegen Verwischen zu machen. Normalerweise kommt man mit drei Stärken aus. Bewährt hat sich die Reihe 0,13/0,25/0,5 mm, denn die Stärke 0,7 erscheint oftmals schon als zu dick. In den Beispielen (Abb. 8) sind gewisse Zonen (an Stelle der Punktierung) mit hellgrauer Gouache bearbeitet, um unterschiedlich dichtes Zellplasma zu symbolisieren. Dabei wurden Rapidographen der Strichstärke 0,18 mm, 0,35 mm und 0,7 mm verwendet. Sollte es nur darum gehen, die Bleistiftzeichnung zu stabilisieren, kann man dazu ein Fixierspray aus dem Künstlerbedarf verwenden.

Rapidographen (vornehmlich die Typen 0,13 und 0,18) haben eine unangenehme Eigenschaft: Sie neigen zum Eintrocknen. Es ist deshalb günstig, sie in einer feuchten Kammer aufzubewahren. Dazu eignen sich mit Schnappdeckel verschließbare Kunststoffgefäße. Der Boden wird mit einer circa 1 cm hohen Schicht nassen Aquariensands bedeckt, darüber kommt locker eine Abdeckung zum Beispiel aus Plexiglas. Die Rapidographen werden darin schräg liegend gelagert (wegen Luftdruckschwankungen Spitzen nach oben).

Um Tuschestriche zu entfernen, arbeitet man mit Glasfaser-Radierern aus dem Fachhandel. Bewährt haben sich auch schmale Cutter oder schräg abgebrochene Rasierklingenhälften. Auf den bekratzten Stellen kann nicht mehr gezeichnet werden, die Tusche fließt. Es sei deshalb angeraten, Korrekturen nach Fertigstellung der Zeichnung anzusetzen.

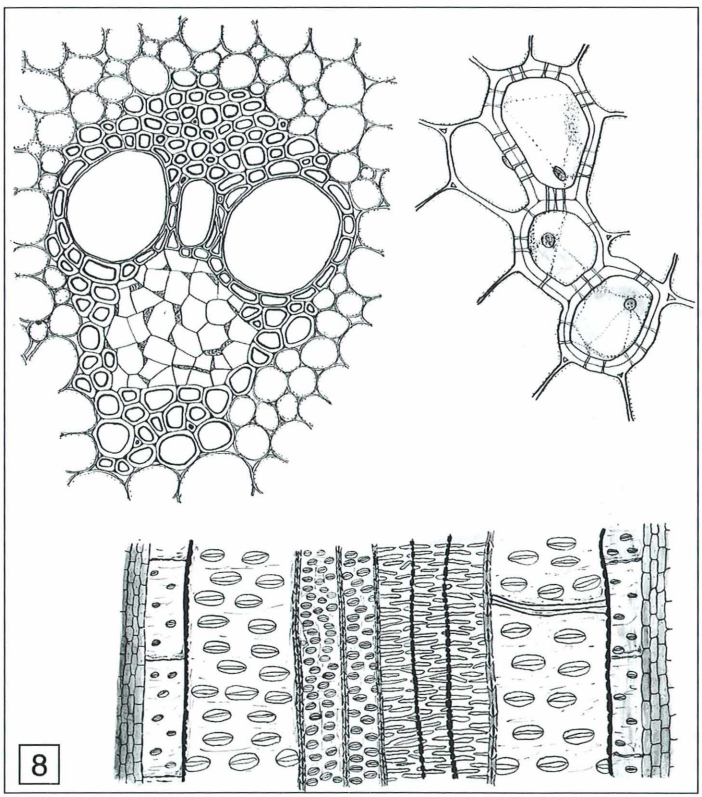


Abb. 8: Leitbündel quer von *Zea mays*, Sklereiden von *Picea abies* (Maitrieb-Querschnitt) sowie Längsschnitt durch ein Leitbündel.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten. http://www.elsevier.de

Komplizierte Zeichnungen dauern Stunden, auch was den Bleistiftentwurf angeht. Damit sich in dieser Zeit das Zeichenpapier nicht durch den Handballen anfeuchtet, wellt und verfärbt, kann man als Dampfsperre folgenden Schutz verwenden. Man nimmt eine Overhead-Folie und schneidet sie auf eine Größe von DIN A5 zu. Dann werden zwei Bögen Schreibmaschinenpapier zu DIN A5-Größe gefaltet und die Folie innen eingelegt. Das äußere Blatt wird von Zeit zu Zeit nach Bedarf gewechselt.

Dokumentation

Ob man mikroskopische Objekte zeichnet oder fotografiert, zur Erhaltung des Beobachtungswertes ist es unumgänglich, gewisse Parameter zu dokumentieren und zusammen mit dem Bild oder in einer getrennten Kartei abzulegen. Dazu gehören: Objektbeschreibung, Fundort, Präparationsart, gegebenenfalls Färbemethode, Einschlussmittel, Datum, Kennwerte der mikroskopischen Darstellung (etwa Objektiv, Kontrastmethode), zeichnerische Gesamtvergrößerung – optimalerweise als Maßstabsbalken.
Jede Zeichnung will etwas erzählen. Das tut sie über Legenden und auch über Stichworte am Zeichnungsrand mit entsprechenden Hinweisstrichen.

Zum Maßstabsbalken

Ein wichtiges Objektkriterium stellt dessen Größe dar. Üblicherweise wird sie über ein Okularmikrometer ermittelt und in die Skizze eingetragen. Nutzt man die Digitalkamera zur Mikrofotografie, so gibt es eine elegante Methode, die ohne dedizierte Messung pro Objekt auskommt. Dazu ist etwas Vorarbeit nötig:
Man nimmt bei definierter Pixelzahl für alle genutzten Objektiv-/Okularkombinationen ein Objekt bekannter Größe auf, zum Beispiel ein Objektmikrometer. Wird eine Kompaktkamera benutzt, so ist auch die Brennweite zu fixieren. Anhand dieser Aufnahmen werden im Bildbearbeitungsprogramm jeweils Objekte für Maßstabsbalken generiert und strukturiert abgelegt.
Nach dieser Basisarbeit reicht es aus, zu jedem Foto die Objektiv-/Okularkombinationen zu notieren. Mit dieser Angabe kann man

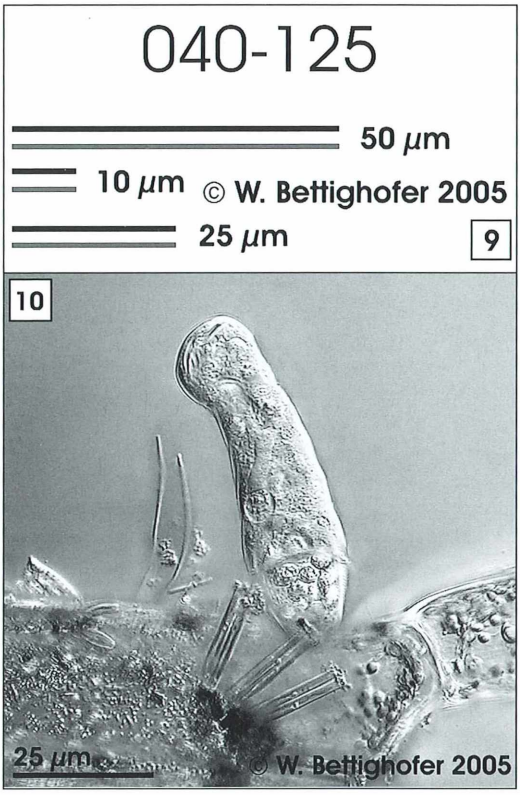
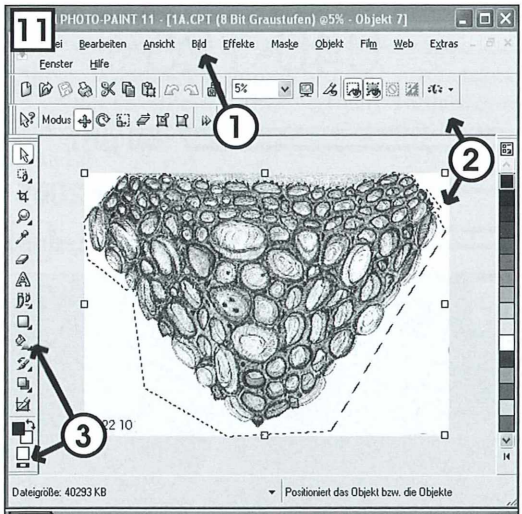
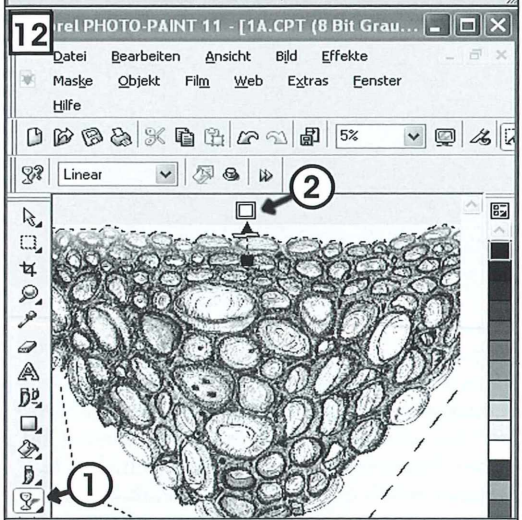


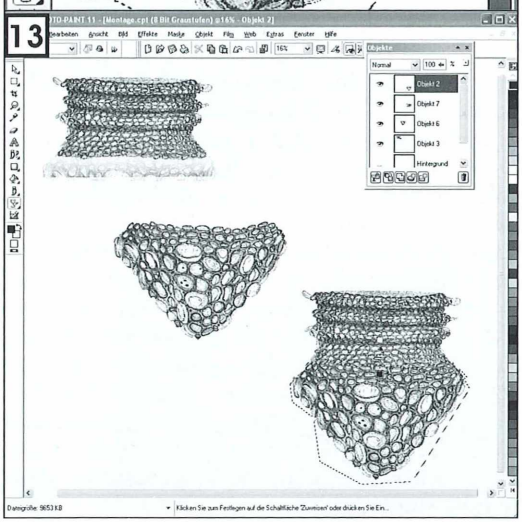
Abb. 9: Beispiel einer Maßstabsbalkensammlung, abgestimmt auf eine spezielle Objektiv-Tubus-Vergrößerungskombination. – Abb. 10: Nutzungsbeispiel des Maßstabsbalkens: Schwärmer des Ciliaten *Thuricola folliculata*. Dieses Bild ist das Ergebnis einer Fusion von 8 Schichtaufnahmen mittels der Stacking-Software MicroPicS.

später in das Bild den passenden Maßstabsbalken aus dem Reservoir einkopieren. Zu diesem Zweck werden das Mikrofoto und die Datei mit den Messobjekten gleichzeitig im Bildbearbeitungsprogramm geöffnet und die Messobjekte mittels Copy&Paste ins Mikrofoto übertragen. Gerade bei der Vermessung beweglicher oder formveränderlicher Lebewesen ist diese Arbeitsweise ein großer Vorteil. Abbildung 9 zeigt ein Beispiel der Objektsammlung für die Maßstabsbalken mit Beschriftung einer speziellen Objektiv-/Okularkombination (im Beispiel Objektiv 40:1, Optovar 1,25). In Abbildung 10 wurde der Maßstabsbalken in eine mikroskopische Aufnahme eingefügt.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/







Weiterbearbeitungsmöglichkeiten der Zeichnungen mittels Digitaltechnik

Alle handgezeichneten Grafiken gewinnen an Präzision und Ausdruckskraft, wenn man sie in möglichst großem Maßstab zeichnet und nachher verkleinert. Für diese Vorgehensweise benötigt man zusätzlich zum PC und dem digitalen Bildbearbeitungsprogramm einen Scanner. Da nur DIN A4-Scanner preisgünstig sind, ist es ratsam, die Zeichnung (falls nötig) auf DIN A4-Kacheln aufzuteilen, diese einzuscannen und nachher im DTP-Programm zusammen zu montieren.

Nachfolgend werden die dazu nötigen Arbeitsgänge grob skizziert. Welche Schritte durchgeführt werden, ist natürlich vom Objekt und persönlichem Arbeitsstil abhängig.

1. Bleistift-Skizze (gegebenenfalls auf mehrere DIN A4-Blätter verteilt) erstellen. Vorlage nicht zu dünn fertigen!
2. Blätter mit Auflösung ≥ 600 dpi scannen.
3. Kontrast im Scan-Ergebnis zum Beispiel durch Anpassung von Helligkeit, Kontrast und Intensität steigern.
4. Tendenz: Helligkeit etwas geringer, Kontrast und Intensität etwas höher stellen.
5. Grafik ausschneiden und Hintergrund weiß fluten.
6. Grafikobjekt nach Bedarf skalieren.
7. Teilskizzen (soweit vorhanden) im DTP-Programm aneinander setzen.

Um für Anschlusszeichnungen auf Blatt 2 einen sicheren Ansatzpunkt zu haben, lege ich über die Anschlusszone des Objektteils auf Blatt 1 einen Verlaufsfilter, schiebe das Objekt an den Blattrand und drucke das Blatt aus, sodass ich an dessen dünn gedruckten Randkonturen zeichnerisch anschließen kann. Das Teilbild oben links in Abbildung 13 zeigt dies.

Abb. 11: Kontrastverbesserung im Scan-Ergebnis mittels Corel Photopaint 11. – Abb. 12: Erzeugung eines Verlaufsfilters unter Corel Photopaint 11. – Abb. 13: Teilgrafiken und montierte Grafik. Links oben: Zweites Bildteil, der Verlaufskeil zur Erleichterung des passgenauen Anschlusses ist zu sehen. Mitte: Erster Bildteil. Rechts unten: Ergebnis der Fusion der Bildteile.

© Elsevier GmbH

Verarbeitung mit Corel Photopaint 11

Kontraststeigerung (Abb. 11):
1. Anpassung in „Bild/Anpassen/Helligkeit-Kontrast-Intensität“ (1),
2. mit „Freihandmaske“ (2) Zeichnung ausschneiden und Hintergrund weiß fluten (3).

Erzeugung eines Verlaufsfilters (Abb. 12):
1. Werkzeug „Interaktive Objekttransparenz“ aktivieren (1),
2. Verlaufskeil einstellen (2),
3. Objekt an den Blattrand schieben.

Nach Zeichnung des Folgeblattes (der Folgeblätter) werden die Scans wie oben beschrieben bearbeitet und zusammengefügt (Abb. 13):
1. Teilzeichnungen mit „Freihandmaske“ ausschneiden.
2. Schritt für Schritt zusammenfügen, indem mittels „Interaktiver Objekttransparenz“ die Übergänge unsichtbar gestaltet werden.
3. Gegebenenfalls Retusche.

Verarbeitung mit GIMP 2

Das Anpassungswerkzeug für Helligkeit und Kontrast findet man bei diesem Programm im Hauptmenü unter „Werkzeuge/Farben“.

Kombinieren der Bildelemente:
1. Jeder gewünschte Bildbereich wird ausgeschnitten und in eine neu erzeugte Ebene einkopiert.
2. Die Ebenen werden maskiert und die Masken als Verlaufsfilter genutzt.
3. Die Maske wird auf die jeweilige Ebene angewendet.
4. Die Ebenen werden passend verschoben und verbunden.

Details zu den Operationen (Abb. 14):
A. Bildteil ausschneiden, in Objekt umwandeln und in Ebene einfügen:
1. Umranden des gewünschten Bildbereiches mit der „intelligenten Schere“ (1) aus dem Werkzeugkasten. Die Umrandung ist beendet, wenn man in den ersten „Scherenpunkt“ hineinklickt. Bevor man das Objekt erzeugt, kann man die „Scherenpunkte“ noch verschieben, um eine besser passende Umrandung zu konstruieren. Das Werkzeug lässt sich sehr ergonomisch bedienen.
2. Um das Objekt zu erzeugen, wird einmal in den umrandeten Bereich geklickt.
3. Im Hauptmenü „Bearbeiten/Ausschneiden“ wählen.
4. Ebene erzeugen: „Hauptmenü/Ebene/Neue Ebene“, transparent.
5. Im Hauptmenü „Bearbeiten/Einfügen“ wählen.

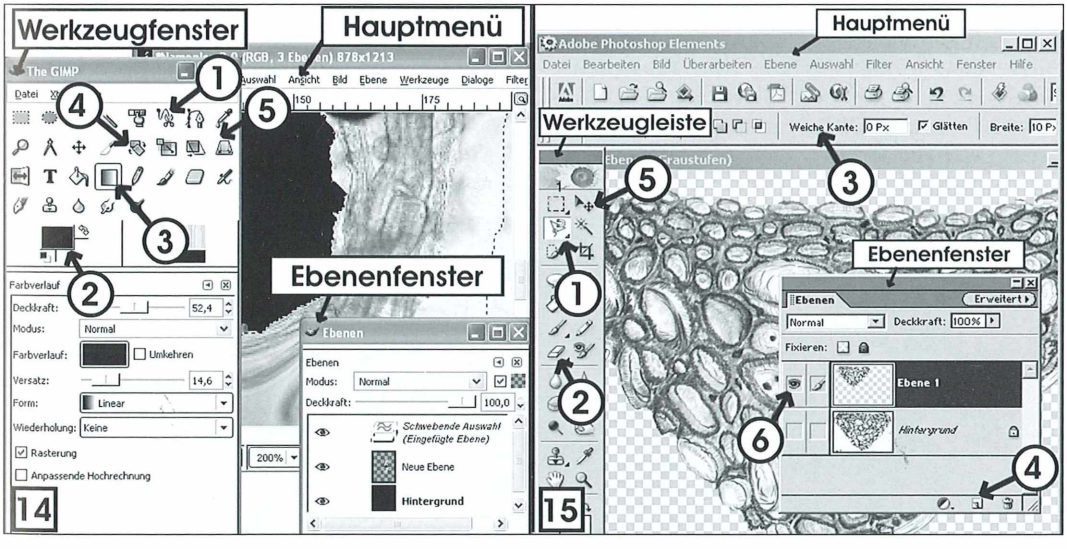


Abb. 14: Fenster und Werkzeuge bei GIMP 2. – Abb. 15: Fenster und Werkzeuge bei Adobe Photoshop Elements 2.0.

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

6. In Ebenenfenster auf „schwebende Auswahl“ mit dem rechten Maus-Button klicken und „Ebene verankern“ wählen.

B. Ebenen maskieren und Verlaufsfilter einsetzen:

1. Im Ebenenfenster mit dem rechten Maus-Button auf entsprechender Ebene klicken und „Ebenenmaske hinzufügen“ (weiß, volle Deckkraft) wählen.
2. Im Ebenenfenster die Maske anwählen (anklicken).
3. Im Werkzeugkasten Vordergrundfarbe Weiß, Hintergrundfarbe Schwarz einstellen (2).
4. Im Werkzeugkasten „Mit Farbverlauf füllen“ anwählen (3).
5. „Deckkraft“ niedrig einstellen (circa 50%, muss der Situation angepasst werden).
6. „Versatz“ auf circa 15% stellen (erzeugt weiche Übergänge).
7. Mit der Maus an den Bildrand klicken, die (linke) Maustaste gedrückt halten und in die Richtung ziehen, in welcher der Verlaufsfilter wirken soll, und dann die Maustaste loslassen. Man sieht den Maskierungseffekt und kommt mit Übung zur Beherrschung der Funktion.
8. Wenn der Verlauf an einer Stelle dem gewünschten entspricht, dann im Ebenenfenster mit der rechten Maustaste auf Maske klicken und „Ebenenmaske anwenden” wählen.
9. Sollen weitere Korrekturen durchgeführt werden, wird erneut eine Ebenenmaske hinzugefügt.

Diese Operationen dauern (bei identischer Hardware und mit dem Betriebssystem Windows XP) unter GIMP deutlich länger als unter Corel. Wie die Performance von GIMP unter Linux ist, wurde nicht getestet.

Schließlich werden alle Ebenen mit den Bildteilen entsprechend zusammen geschoben, gegebenenfalls sind Bildteile zu drehen (4) oder zu dehnen (5).

Verarbeitung mit Adobe Photoshop Elements 2.0

Das Anpassungswerkzeug für Helligkeit und Kontrast findet man bei diesem Programm im Hauptmenü unter „Überarbeiten/Helligkeit und Kontrast anpassen/Helligkeit und Kontrast“.

Kombinieren der Bildelemente:

1. Jeder gewünschte Bildbereich wird ausgeschnitten und in eine neu erzeugte Ebene einkopiert.
2. Die Bildelemente werden mit dem Radierwerkzeug in den Überlappungszonen ausgedünnt (halbtransparent gemacht).
3. Die Ebenen werden passend verschoben und verbunden.

Details zu den Operationen (Abb. 15):

A. Bildteil ausschneiden, in Objekt umwandeln und in Ebene einfügen:

1. Werkzeug „Magnetlasso“ wählen (1).
2. An der gewünschten Außenkante des Objekts mit der Maus entlang fahren und mittels Mausklicks Stützpunkte setzen. Schließen der Umrandung durch Doppelklick in den ersten Stützpunkt.
3. Mit der rechten Maustaste ins Objekt klicken und im Kontextmenü „Ebene durch Kopie“ anwählen.

B. Objektrand für Überlappung vorbereiten (halbtransparent machen):

1. Werkzeug „Radiergummi“ auswählen (2).
2. Im Werkzeug-Einstellbereich (3) die Radiergummi-Größe auf mindestens 250 stellen

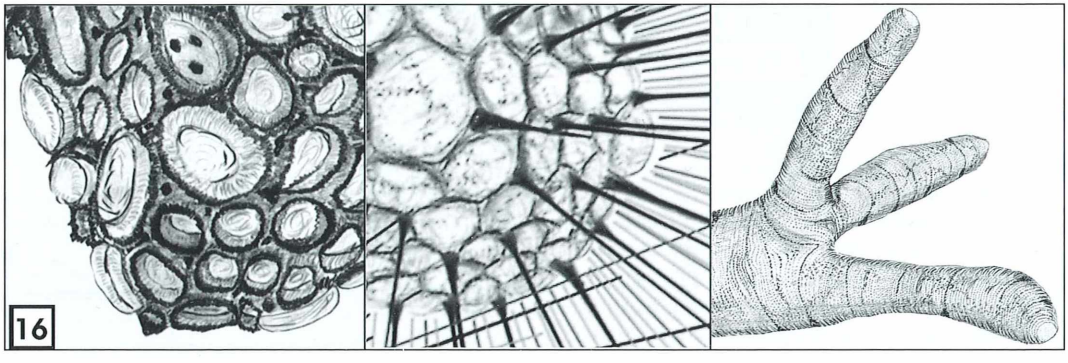


Abb. 16: Beispiele zur Tiefensymbolisierung.

© Elsevier GmbH, München

(Typ „Standardpinsel“ mit weichem Kantenverlauf) und die Deckkraft auf unter 20% setzen.

3. An der Anschlusskante mit gedrückter Maustaste vorsichtig entlang radieren und Ergebnis kontrollieren.

C. Übertragen einer Ebene (mit einem Objekt) von einer Bilddatei in eine anderen Bilddatei:

1. Im Hauptmenü „Auswahl/alles auswählen“ anklicken.
2. Im Hauptmenü „Bearbeiten/kopieren“ anwählen.
3. Zieldatei öffnen beziehungsweise aktivieren (anklicken), falls schon geöffnet.
4. Neue Ebene erstellen (4).
5. Im Hauptmenü „Bearbeiten/einfügen“ anwählen.

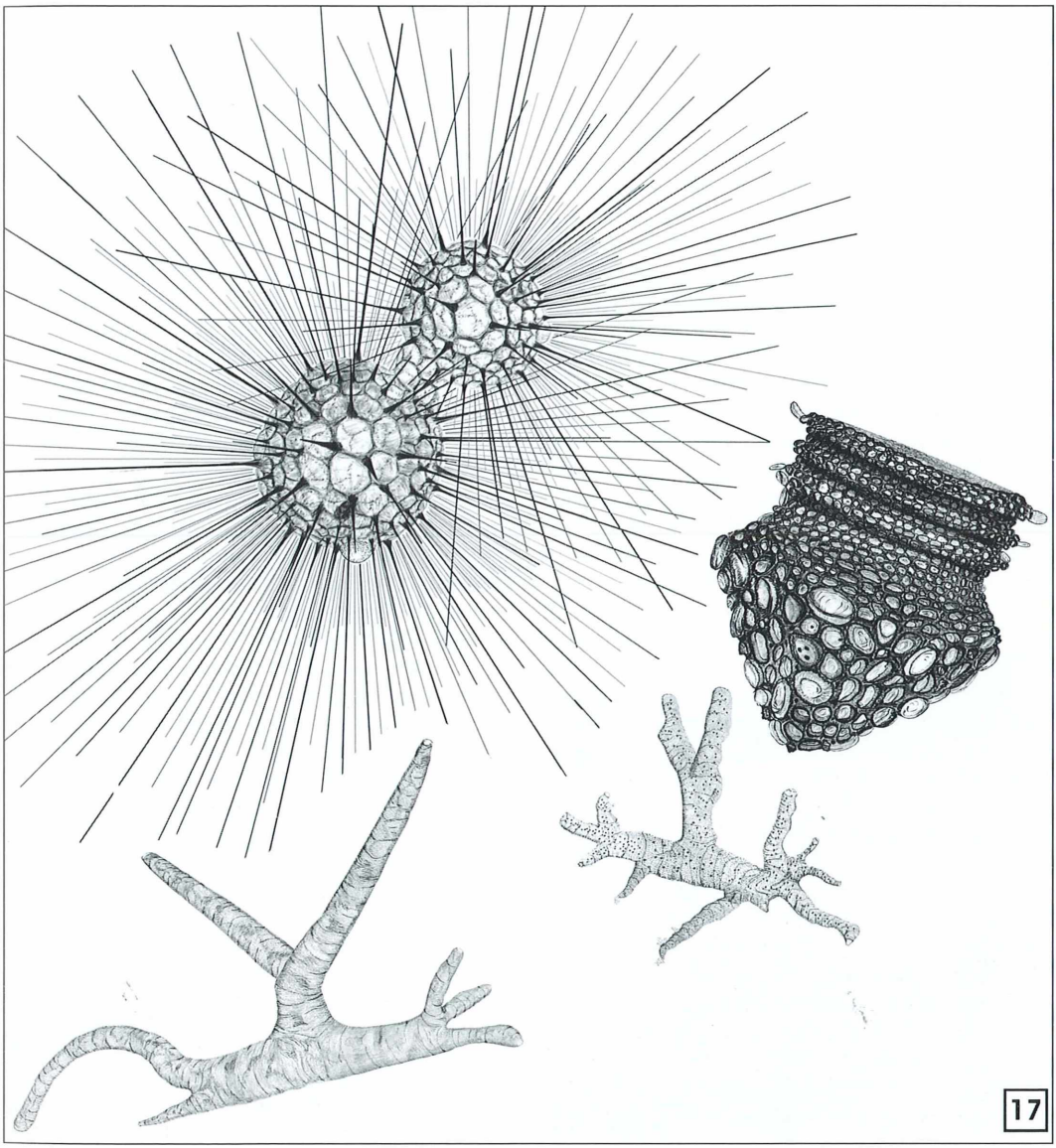


Abb. 17: Fressgemeinschaft zweier Individuen von *Actinosphaerium eichhorni*. Lorica von *Codonella cratera*; dieser Ciliat baut Schalen von Diatomeen (vornehmlich aus der Ordnung Centrales) in sein Gehäuse ein. Zwei Momentaufnahmen von *Chaos diffluens*; Formen der Amöben nach Fotoskizzen (Stereomikroskop) gestaltet.

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

D. Teilbilder zusammensetzen:
1. Verschiebewerkzeug (5) benutzen, um Objekte passend aneinander zu legen.
2. Ebenen, die vereinigt werden sollen, im Ebenenfenster sichtbar schalten (6), alles andere (auch den Hintergrund) unsichtbar machen.
3. Im Hauptmenü „Ebene/Sichtbare auf eine Ebene reduzieren" anwählen.

Beispiele zur 3D-Darstellung

Die 3D-Darstellung hat das Ziel, die räumliche Struktur der Objekte abzubilden, wie sie im Stereomikroskop beobachtet werden kann. Einzeller sind meist zu klein, um sie mit den Mitteln des Stereomikroskops adäquat darzustellen, vor allem, was die fotografische Dokumentation anbelangt. Das menschliche Gehirn ist jedoch in der Lage, die Eindrücke der Räumlichkeit aus der Betrachtung im Stereomikroskop mit den Detail-Beobachtungen im biologischen Mikroskop zusammenzusetzen. Diesen Eindruck dann zeichnerisch umzusetzen ist interessant, denn das Ergebnis ist mehr als das bloße Nachzeichnen beobachteter Strukturen. Die Grafiken, die aus diesem Bestreben resultieren, sind objektähnlich und nicht streng objektgleich. Bei diesen Zeichnungen verwende ich deshalb keinen Maßstabsbalken.

Die Beispiele zeigen, wie räumliche Wirkung durch Licht und Schatten sowie perspektivische Verkürzung erzielt werden können. Dabei wurde darauf geachtet, zur Symbolisierung der Tiefe ohne objektfremde Strukturen zu arbeiten. Die mehr oder weniger regelmäßigen Oberflächenstrukturen von *Actinosphaerium eichhorni* und den Loricae von *Codonella cratera* machten es leicht, das Mittel der perspektivischen Verkürzung einzusetzen. Die nach vorn gerichteten Objektteile werden so gezeichnet, wie sie in der Draufsicht erscheinen, zur Peripherie hin werden die Strukturen verkleinert und die Proportionen verändert. Aus dem Kreis wird eine Ellipse, aus dem Quadrat ein Trapez, Licht und Schatten treten hinzu, weiter hinten liegende Objektteile werden dunkler dargestellt als die vorn liegenden.

Die sich ständig umformenden Schlauchgebilde von *Chaos diffluens* zeigten unter dem Mikroskop im Großen und Ganzen eine einheitliche Granulation des Protoplasmas. Im Mikroskop waren bei höherer Vergrößerung natürlich weitere Differenzierungen sichtbar, die Zeichnung sollte jedoch die Sicht durch das Stereomikroskop wiedergeben. Hier habe ich die Methode der Punktierung angewandt. Zur Verdeutlichung der Arbeitstechniken zeigt Abbildung 16 vergrößerte Ausschnitte der Zeichnungen aus Abbildung 17.

Zusätzlich sei zum Bild der Actinosphaerien-Fressgemeinschaft erwähnt, dass ich den Eindruck des Stachelballs, welchen ich bei der Beobachtung mit 80facher Vergrößerung gewonnen hatte, in der Zeichnung umsetzen wollte. Nun ist aber die zeichnerische Darstellung von solch einer großen Menge Axopodien langwierig und fehleranfällig. Andererseits sind sie gleichförmig gestaltet und es bietet sich deshalb an, einzelne gezeichnete Strahlen im DTP-Programm mittels des Werkzeugs „Freihandmaske", „intelligente Schere" beziehungsweise „Magnetlasso" auszuschneiden, in Objekte umzuwandeln und dann in größerer Anzahl zu duplizieren, entsprechend zu drehen, in der Länge anzupassen und ins Bild einzumontieren. Die Zeichnungen von *Chaos diffluens* sind aus jeweils 5–7 Teilen zusammengesetzt worden. Dabei füllte jedes Teilbild ein DIN A4-Blatt. Der in Abbildung 16 gezeigte Teil wurde in Wirklichkeit 12 × 12 cm groß gezeichnet. Dieser Protist ist groß genug, um mit seiner 3D-Struktur im Stereomikroskop bei 50–80facher Vergrößerung gut sichtbar dargestellt zu werden. Man vergisst diesen Anblick des 3-dimensionalen Fließens nicht, und man merkt besonders an solchen Objekten, wie wenig das Mikroskop doch von der wahren Form und dem Verhalten der Protisten zu zeigen vermag. Ich möchte nachdrücklich motivieren, das Stereomikroskop nicht nur aus dem Blickwinkel der Präparierlupe zu betrachten. Als Mikroaquarien eignen sich Uhrgläschen oder Blockschälchen, eine dem Dunkelfeld ähnliche Beleuchtung erhöht den Beobachtungskomfort.

Danksagung

Ich danke den Freunden aus dem Internet-Mikroskopieforum Peter Bergmann, Gunther Chmela und Dr. Detlef Kramer für den regen Gedankenaustausch zum Thema. Sie gaben wichtige Hinweise auf Lücken im Text und halfen so mit, die Darstellung abzurunden und über die Schilderung der Nutzungsmöglichkeiten des PCs das eigentliche Hauptthema „Zeichnen" nicht in den Hintergrund drängen zu lassen. Des Weiteren bedanke ich mich bei Dr. Heinz Streble für eine Reihe wertvoller Tipps zur Zeichentechnik.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Literaturhinweise

Gölker, K.: Fotobearbeitung und Bildgestaltung mit GIMP 2. dpunkt Verlag, Heidelberg 2005.
Günther, G.: Hardware und Software für Mikroskopiker – Die Adaption der Nikon Coolpix 990 und die Anwendung aktueller Programme zur Bildbearbeitung. Mikrokosmos *91*, 231–239 (2002).
Günther, G.: Hoch gestapelt – tiefenscharf: Anwendung aktueller Software zur Verarbeitung von Bilderstapeln. Mikrokosmos *95*, 153–159 (2006).
Haeckel, E.: Kunstformen der Natur. Bibliographisches Institut Leipzig, 1904. Reprint: Prestel Verlag, München 1998.
Nultsch, W., Grahle, A.: Mikroskopisch-Botanisches Praktikum. Thieme Verlag, Stuttgart 1973.
Rietschel, P.: Das Zeichnen am Mikroskop. I. Zeichnen oder Mikrofoto? Mikrokosmos *62*, 294–296 (1973a).
Rietschel, P.: Das Zeichnen am Mikroskop. II. Die Zeichentechnik. Mikrokosmos *62*, 327–328 (1973b).
Rietschel, P.: Das Zeichnen am Mikroskop. III. Das maßgerechte Zeichnen. Mikrokosmos *62*, 368–370 (1973c).
Rietschel, P.: Das Zeichnen am Mikroskop. IV. Beispiel: Die Mundteile der Schabe. Mikrokosmos *63*, 18–32 (1974).
Rietschel, P.: Das Zeichnen am Mikroskop. V. Der Zeichentisch. Mikrokosmos *67*, 336–337 (1978).
Rietschel, P.: Das Zeichnen am Mikroskop. VI. Zeichentechniken und Zeichengeräte. Mikrokosmos *69*, 36–39 (1980).
Ziegenbalg, R.: Ein Zeichenspiegel für das Hensoldtsche „Tami"-Mikroskop. Mikrokosmos *17*, 165 (1923).

Internet-Links

GIMP: http://www.gimp.org.
Mikroskopieforum: http://www.mikroskopie.de
Stüber, K.: Stübers Online-Library: http://www.zum.de/stueber/haeckel/kunstformen/natur.html

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

Nachricht

Sommer 2005: Exkursion der MVM zum Alatsee bei Füssen

Mitglieder der Mikroskopischen Vereinigung München unternahmen im Juli 2005 eine Exkursion zum Alatsee südlich von Füssen. Das Ziel war eine Untersuchung der stabilen Purpurbakterien-Schicht in rund 15 bis 19 m Tiefe, die den See zu einem besonderen limnologischen Forschungsobjekt in Deutschland macht (Abb. 1 und 2).
Der Alatsee liegt auf einer Höhe von 865 m und ist maximal 35 m tief. Seine mittlere Tiefe beträgt 15 m. Die Besonderheit dieses Bergsees ist die stabile Schicht von Purpurbakterien in rund 15 bis 19 m Tiefe. Unter dem Sammelbegriff „Purpurbakterien" verbergen sich Schwefel- und Nichtschwefelpurpurbakterien, welche phototroph leben und aufgrund ihrer Photosynthesepigmente meist rötlich gefärbt sind. Sie produzieren keinen Sauerstoff und sind sogar meist obligate Anaerobier. Da der Alatsee in der Tiefe von 15–19 m eine anaerobe Zone mit hoher Schwefelwasserstoff-Konzentration besitzt, konnten sich die Purpurbakterien dort gut entwickeln. Auch

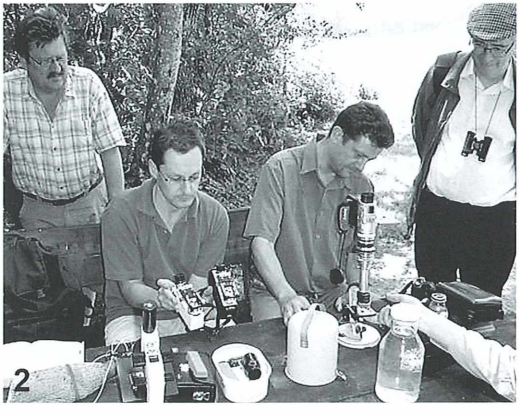


Abb. 1: Alatsee bei Füssen. – Abb. 2: Erste Inspektion der Wasserproben vor Ort (Fotos: Josef Häckl, Emmering, und Martin Mach, München).

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

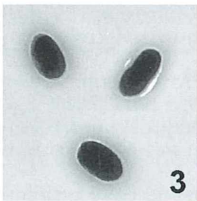


Abb. 3: Schwefelpurpurbakterien der Gattung *Chromatium*. – Abb. 4: Schwefelbakterien der Gattung *Aerobacter*.

unterhalb dieser Schicht fehlt der Sauerstoff weitgehend. In der Limnologie wird solch eine bodennahe Schicht als Monimolimnion bezeichnet. In diesen beiden Zonen vermögen außer Purpurbakterien nur bestimmte Ciliaten und Nematoden zu leben.
Im oberen Drittel der Wassersäule weist der See das normale Ökosystem eines Bergsees auf. So finden sich die Rotalge *Batrachospermum moniliforme*, Armleuchter-Algen-Rasen (*Chara* spec.) und im Bereich des Flachwassers eine reichhaltige Unterwasserflora aus Makrophyten. Zuhauf findet man den Ciliaten *Ophrydium versatile*, der als Leitorganismus der Wassergüte I gilt, sowie zahlreiche Süßwasserpolypen (*Hydra* spec.), Insektenlarven und Teichmuscheln (*Anodonta* spec.). An Fischen werden Hechte, Karpfen und Rotfedern gefangen. Auffällig ist das häufige Auftreten von blutrot gefärbten Süßwassermilben.
Die Schicht von Nichtschwefelpurpurbakterien (Rhodospirillineae) und Schwefelpurpurbakterien (wie *Chromatium*-Arten) hat uns besonders interessiert (Abb. 3 und 4). Diese anaerobe Zone ist selbst für das Licht stärkster Taucher-Scheinwerfer undurchdringbar. Ein Taucher verliert hier leicht die Orientierung und kann in diesem lebensfeindlichen Bereich umkommen. Deshalb herrscht im Alatsee absolutes Tauchverbot. Nur einige Wissenschaftler mit Sondergenehmigung, so Prof. Dr. Franz Brümmer vom Biologischen Institut der Universität Stuttgart, tauchen hier und erforschen die Ökologie dieses Gewässers. Unter anderem soll die Artenzusammensetzung der Bakterienschicht und das tierische Leben im anaeroben Bodenbereich erforscht werden.
Unser Vereinsmitglied Bernd Kaiser, selbst ein begeisterter Taucher, entnahm frei schwimmend an der Oberfläche des Sees mit einer Meyer'schen Schöpfflasche eine Probe aus der Purpurbakterien-Schicht. Sie war nur rosarot gefärbt, roch aber intensiv nach Schwefelwasserstoff. Sie stammte wohl aus der Randzone der Purpurbakterien-Schicht, denn aus dem Zentrum entnommen wäre die Probe dunkelrot gefärbt gewesen. In dieser Wasserprobe konnten wir im Bodensatz lichtmikroskopisch Vertreter der Schwefelpurpurbakterien *Chromatium* und *Aerobacter* feststellen. Brümmer und Mitarbeiter haben zeigen können, dass die Bakterienschicht so dicht ist, dass man ihre Mächtigkeit mit einem Echolot messen kann.

Besonderheiten des Alatsees

Geologisch gesehen befindet sich der Alatsee in den Raibler Schichten. Diese in der Trias abgelagerten brecciösen grauen oder gelblichen Dolomite und Rauhwacken enthalten Gips. Er ist die Schwefelquelle für das Schwefelwasserstoff-Vorkommen im Faulenbacher Tal, südlich von Füssen, und dem in diesem Bereich liegenden Alatsee. Die meisten Seen weisen eine jährliche Zirkulation des Wasserkörpers auf. Bei einem dimiktischen See findet eine Frühjahrs- und eine Herbstzirkulation statt, bei einem monomiktischen See nur eine Zirkulation im Jahr. Dabei sind die meisten Seen holomiktisch, das heißt, der gesamte Wasserkörper wird vermischt. Der Alatsee ist jedoch ein meromiktischer See, bei dem der Wasserkörper nicht komplett umgelagert wird; die tiefen Zonen entziehen sich der Zirkulation. Daher kommt die Purpurbakterien-Schicht nicht an die Oberfläche. Allerdings soll dies früher schon einmal passiert sein, was dem See die Bezeichnung „Blutender See" eingebracht hat. In den letzten Jahren wurde dieses Phänomen jedoch nicht beobachtet.

Siegfried Hoc, Mikrobiologische Vereinigung München e.V., Olching

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Zellen und Strukturen mit berühmten Namen Teil 1: Purkinje-Zellen

Bernd Walz

Viele Zellen und mikroskopische Strukturen des Tierkörpers sind nach ihren Entdeckern benannt. Merkel-Zellen, Purkinje-Zellen, Bowman-Kapsel, Henle'sche Schleife, Langerhans-Inseln und Malpighische Gefäße sind nur wenige, willkürlich gewählte Beispiele. Gerade dem Hobbymikroskopiker bietet das Studium derartiger Strukturen (auch anhand gekaufter Dauerpräparate) einen Einblick in die mikroskopische Anatomie und die Funktion wichtiger Zellen und Strukturen des Tierkörpers. Interessant ist oft auch die Entdeckungsgeschichte dieser „berühmten" Strukturen, denn heute muss man sich darüber wundern, mit welch einfachen Hilfsmitteln und unzureichenden Mikroskopen wesentliche Entdeckungen möglich waren. Als Anregung für eigene mikroskopische und wissenschaftsgeschichtliche Entdeckungsreisen sollen hier in lockerer Folge einige dieser berühmten Zellen und Strukturen vorgestellt werden – in diesem Heft die Purkinje-Zellen des Kleinhirns.

Der Tscheche Jan Evangelista Purkinje (Abb. 1A) beschrieb auf dem Kongress *Deutscher Naturforscher und Ärzte* in Prag 1837 große Nervenzellen des Kleinhirns. Seine berühmte, 1838 publizierte Zeichnung (Abb. 1B) illustriert diese Nervenzellen, die heute nach ihm Purkinje-Zellen benannt werden. Diese Entdeckung fiel in eine Zeit, in welcher zwei Zeitgenossen Purkinjes, nämlich Theodor Schwann (1810–1882) und Matthias Jacob Schleiden (1804–1881), das Konzept entwickelten, dass alle tierischen und pflanzlichen Gewebe aus Zellen aufgebaut sind. J. E. Purkinje kann als einer der Vorläufer der Zellenlehre gelten. Unter anderem verwendet er als erster den Begriff Protoplasma.

Kurzbiographie

Johannes Evangelista Purkinje wurde 1787 im böhmischen Libochovice als Sohn des fürstlich Diedrichstein'schen Ökonomierats Purkinje geboren. Als der Vater starb, J. E. Purkinje war erst 10 Jahe alt, brachte ihn seine Mutter in einem Chorknabeninstitut des Piaristenordens unter, wo er das Gymnasium absolvierte und kurze Zeit später als Bruder Silverius als Professor unterrichtete. Kurz vor der Priesterweihe trat er aus dem Orden aus und begann in Prag Philosophie zu studieren. Ein vermögender Gönner ermöglichte ihm das Studium der Medizin, das er 1819 mit der Dissertation *Beiträge zur Kenntnis des Sehens in subjektiver Hinsicht* abschloss. 1823 erhielt er an der Universität Breslau den Lehrstuhl für Physiologie und Pathologie. Bemerkenswert ist, dass Purkinje seine Physiologievorlesungen bereits um experimentelle Demonstrationsstunden ergänzte. 1839 erhielt er ein eigenes (kleines) Physiologisches Institut. Das war ungewöhnlich, denn damals waren physiologische Laboratorien in der Anatomie untergebracht.

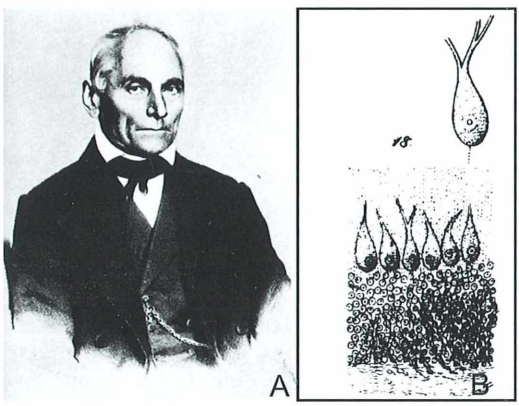


Abb. 1: A Jan Evangelista Purkinje (1787–1869) (aus Skramlik, 1964). – B Purkinjes Zeichnung von Kleinhirn-Nervenzellen aus dem Jahr 1838 (nach Finger, 1994).

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

J. E. Purkinjes produktivste Zeit lag zwischen 1820 und 1840. Bis 1832 beschäftigte er sich vornehmlich mit der Physiologie des Gesichtssinns, begann dann mit mikroskopischen Arbeiten. Vielleicht war sein Breslauer Institut die Wiege der Histologie, denn er entwickelte Methoden der Gewebefixierung, die Herstellung von Dünnschnitten aus gehärtetem Material mit einem ersten Mikrotom, und er färbte seine Dünnschnitte. Er war der erste Wissenschaftler, der Dünnschliffe von Knochen und Zähnen anfertigte, deren Feinbau er studierte. Von seinen zahllosen mikroskopischen Entdeckungen seien nur einige genannt. Er beschreibt erstmals das Keimbläschen im tierischen Ei, differenziert die Struktur der Nervenfasern und Ganglienzellen im Gehirn, und er beschreibt die nach ihm benannten Purkinje-Fasern im Herzen sowie die in diesem Artikel vorgestellten Purkinje-Zellen des Kleinhirns. 1850 geht J. E. Purkinje an die Universität Prag, wo er sich bis zu seinem Tod im Jahre 1869 auch politisch stark engagierte.

Lage und Morphologie der Purkinje-Zellen

Die Purkinje-Zellen liegen in der Kleinhirnrinde (Abb. 2A, B). Die in Abbildung 1B wiedergegebene Originalzeichnung Purkinjes lässt nur die Zellkörper der Purkinje-Zellen erkennen. Die geradezu spektakuläre Morphologie des umfangreichen Dendritenbaums dieser Zellen blieb Purkinje verborgen. Die komplexe Struktur der Purkinje-Zellen wurde erst erkannt, als Camillo Golgi (1843–1926) und Ramón y Cajal (1852–1926) Methoden der Metallimpregnation entwickelten und anwandten, um die Feinstruktur des Nervensystems zu erforschen. Die Abbildungen 2C, D und F zeigen Schnitte durch die Kleinhirnrinde, die mit derartigen Methoden gefärbt wurden. Die Silberimprägnation nach Ramón y Cajal (Abb. 2C) lässt bereits erkennen, dass die Zellkörper (Somata) der Purkinje-Zellen in einer definierten Schicht liegen (Abb. 2B, PS Purkinje-Zellschicht) und verzweigte Dendriten in die Peripherie senden (Abb. 2B, MS Molekularschicht). Die Purkinje-Zellschicht ist nur eine dünne Schicht zwischen der Molekularschicht und der Körnerschicht (Abb. 2B, KS) und enthält Millionen von Purkinje-Zellen. Morphologische Details des umfangreichen Dendritenbaums der Purkinje-Zellen lassen Schnitte erkennen, die mit der so genannten Imprägnationsmethode nach Golgi gefärbt wurden. Da diese Methode in der Regel nur einzelne Zellen darstellt, entstehen zwar unvollständige, aber sehr klare Bilder (Abb. 2D). Derartige Präparate zeigten, dass der Dendritenbaum der Purkinje-Zellen die Molekularschicht fächerartig, wie ein Spalierobstbaum durchsetzt. Die Dendriten besitzen kleine Dornfortsätze in immenser Zahl (50.000 bis 60.000 Dornen). An diesen Stellen befinden sich Synapsen, über welche die Purkinje-Zellen unter anderem erregende Informationen von den Parallelfasern (Abb. 2B) der Körnerzellen und Kletterfasern erhalten. Für die Funktion der Purkinje-Zellen ist wichtig anzumerken, dass ihre Aktivität durch zwei Zelltypen gehemmt wird, die Korb- und Sternzellen (Abb. 2F), die sich beide in der Molekularschicht befinden.

Funktion der Purkinje-Zellen

Obwohl die nur circa 1 mm dicke Kleinhirnrinde eine recht klare und regelmäßige Schichtengliederung aufweist, sind die im Kleinhirn ablaufenden Vorgänge komplex. Das Kleinhirn gliedert sich histologisch in die Kleinhirnrinde und das Kleinhirnmark. Es verarbeitet vielfältige sensorische Informationen und koordiniert Körperbewegungen und beeinflusst den Muskeltonus. Hierzu ist das Kleinhirn mit fast allen anderen Gehirnteilen verbunden. Glatte Bewegungsabläufe sind bei Schädigungen des Kleinhirns nicht mehr möglich. Richtung, Kraft, Beschleunigung und Stärke von Bewegungen sind gestört, wodurch die sichere Kontrolle der Körperhaltung und des Gangs verloren gehen. Auch am Erlernen motorischer Abläufe ist das Kleinhirn beteiligt. Welche Rolle spielen die Purkinje-Zellen bei den Kleinhirnfunktionen?
Im Kleinhirnmark liegen Zellgruppen (Kerngebiete), die von Moos- und Kletterfasern ständig erregende Impulse aus dem motorischen System erhalten. Die Aktivität dieser Kerngebiete wird jedoch von den Axonen der Purkinje-Fasern stark gehemmt. Da die Purkinje-Zellen durch die Moosfasern (indirekt) und die Kletterfasern (direkt) ebenfalls erregt werden, wird die hemmende Wirkung der Purkinje-Zellen ständig aufrechterhalten. Erst wenn Korb- und Sternzellen die Purkinje-Zellen hemmen, unterbleibt deren hemmende Wirkung auf die Kleinhirnkerne.

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

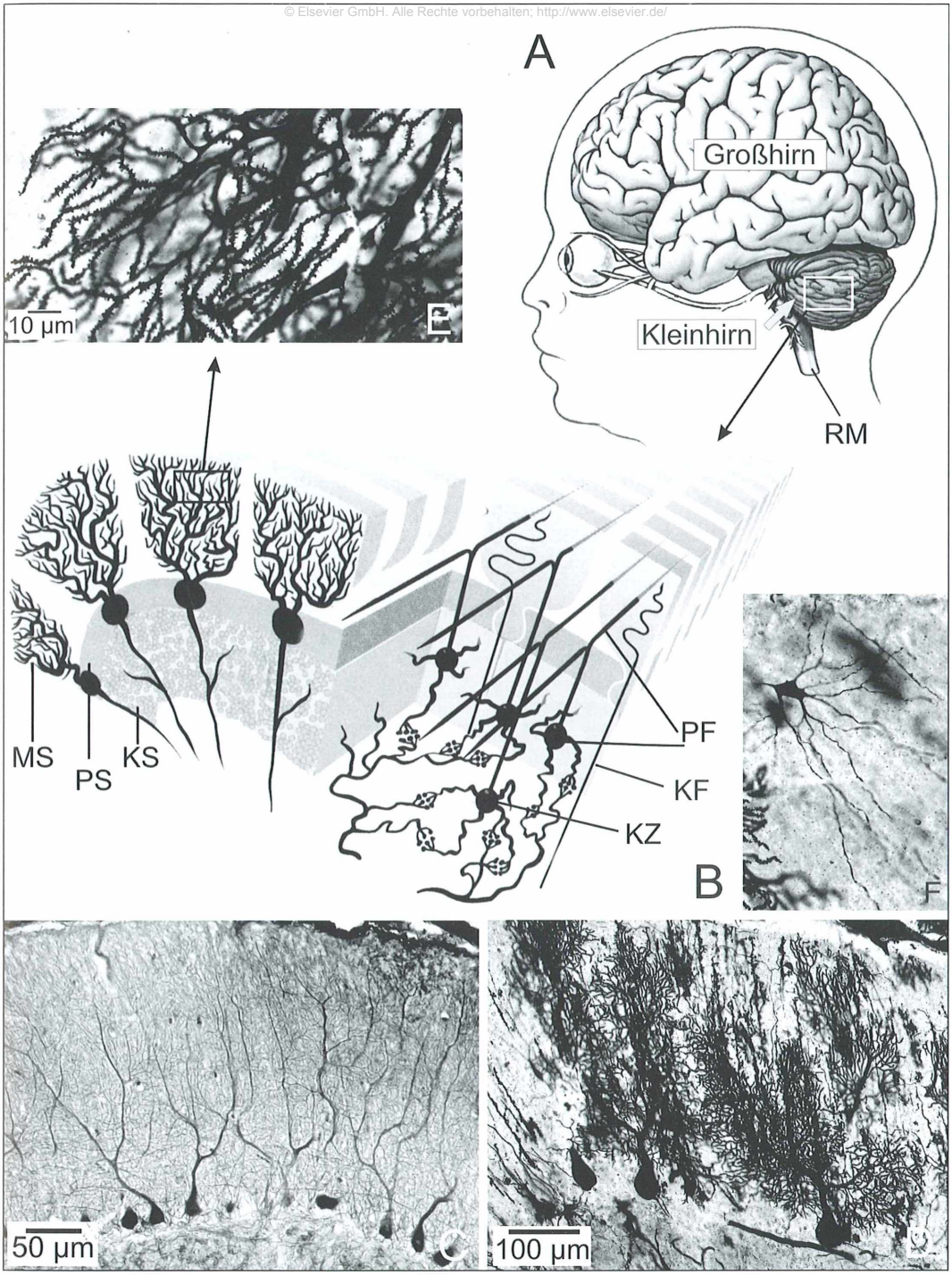


Abb. 2: A Menschliches Großhirn und Kleinhirn (nach Silverthorne, 2004). – B Organisation der Kleinhirnrinde. MS Molekularschicht, KF Kletterfasern, KS Körner-Zellschicht, KZ Körnerzellen, PF Parallelfasern der Körnerzellen, PS Purkinje-Zellschicht (nach Schmidt und Thews, 1995). – C Purkinje-Zellen in der Kleinhirnrinde des Schweins. Färbung: Silberimprägnation nach Cajal. – D Purkinje-Zellen in der Kleinhirnrinde des Schweins. Färbung: Silberimprägnation nach Golgi. – E Ausschnitt aus dem in D gezeigten Präparat. Dornfortsätze auf den Purkinje-Zell-Dendriten. – F Sternzelle aus der Molekularschicht der Kleinhirnrinde des Schweins. Färbung: Silberimprägnation nach Golgi.

 © Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Technische Hinweise

Die Präparate für die Abbildungen 2C–E stammen von V. Neureuther (Labor für mikroskopische Technik, Ingolstadt). Mikrofotografie: Zeiss Axioskop (Hellfeldbeleuchtung, Objektive: Plan-Apochromat 63/1.4 Öl; Neofluar 20/0.50; Neofluar 10/0.30), Zeiss-High-end-Kameraadapter für Canon PowerShot G5.

Literaturhinweise

Finger, S.: Origins of neuroscience. A history of explorations into brain function. Oxford University Press, New York 1994.
Romeis, B.: Mikroskopische Technik. R. Oldenbourg Verlag, München 1948.
Rothschuh, K. E.: Geschichte der Physiologie. Springer-Verlag, Berlin 1953.
Schmidt, R. F., Thews, G.: Physiologie des Menschen. Springer-Verlag, Berlin 1995.
Silverthorne, D. E.: Human physiology. An integrated approach. Pearson Education, San Francisco 2004.
Skramlik, E. von: Jan Evangelista Purkinje (Purkyně). In: Freund, H., Berg, A. (Hrsg.): Geschichte der Mikroskopie. Leben und Werk großer Forscher, S. 299–310. Umschau Verlag, Frankfurt 1964.
Welsch, U.: Lehrbuch der Histologie. Urban & Fischer Verlag, München 2003.

Verfasser: Prof. Dr. Bernd Walz, Siedlungsweg 3, 14469 Potsdam,
E-Mail: walz@rz.uni-potsdam.de

Buchbesprechungen

Benacchio, L., Benedetti, P., Rasotto, M. B., Venturini, C.: Ursprünge. Vom Werden des Universums der Erde und des Lebens. Über 100 Farbfotos, 199 Seiten, Hardcover mit Schutzumschlag, € 39,90, Verlag Wolfgang Kunth, München 2005/06, ISBN 3-89944-196-6.

Bereits im Vorwort dieses großformatigen Bildbandes springt die Faszination über, mit der die vier Autoren – ein Kosmologe, ein Geologe und zwei Biologen – die Entwicklung der Erde von ihrer Entstehung bis heute verfolgen. (Farben-)prächtige Bilder dokumentieren Meilensteine vom Ursprung des Universums vor etwa 13 Millionen Jahren über die Entwicklung der Erde aus geologischer Sicht und bis zur Entstehung des Lebens. Angefangen bei der Entstehung organischer Moleküle, aus denen erste einfache Organismen hervorgingen, über die „Geburt" von Bakterien, eukaryotischen Einzellern, den ersten Mehrzellern und schließlich der Vielfalt heutiger Organismen einschließlich des Menschen erläutern aktuelle Begleittexte die bestechenden Bilder. Nicht nur die Brillanz der Bilder beeindruckt, auch die Vielfalt der angewandten Techniken ist enorm. Der Bogen spannt sich von Teleskopaufnahmen, Luftansichten und Unterwasserbildern, über Makroaufnahmen und Lichtmikroskopie bis hin zur Raster- und Transmissionselektronenmikroskopie. Dabei fällt es kaum ins Gewicht, dass einige Fakten – wohl im Bestreben prägnante, einfache Erläuterungen zu geben – etwas ungenau beschrieben sind und sich in manche Fachausdrücke (orthographische) Fehler eingeschlichen haben. Für Laien und Fachleute gibt diese gelungene Auswahl an Themen und Bilddokumenten einen spannenden Einblick in die Ursprünge der unbelebten und belebten Welt, und das zu einem vernünftigen Preis.

Renate Radek, Berlin

Knippers, R.: Molekulare Genetik, 9., komplett überarbeitete Auflage. 607 Seiten, 614 farbige Abbildungen, 68 Tabellen, kartoniert, € 49,95, Thieme Verlag, Stuttgart 2006, ISBN 978-3-13-477009-4.

Es gibt einige Teildisziplinen der Biologie, in denen derzeitig die Forschung besonders rasant erfolgt. Dazu gehört zweifelsfrei die Molekulare Genetik. Und so nimmt es nicht Wunder, dass in relativ kurzen Abständen Neuauflagen von bewährten Lehrbüchern notwendig sind. So auch bei dem vorliegenden Werk, das komplett überarbeitet und aktualisiert wurde und so dem gewaltigen Wissenszuwachs der letzten fünf Jahre Rechnung trägt. Es werden die neuesten Entwicklungen und Ergebnisse der Genomforschung berücksichtigt, wobei aber am bewährten Konzept festgehalten wird. Lernende wie Lehrende werden dieses zu schätzen wissen.

Wilhelm Wagner, Essen

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

Höhepunkte in der Geschichte der Immersionsobjektive

Die Zeitschrift *Innovation* von Carl Zeiss stellt nicht nur Neuheiten rund um die Mikroskopie vor, sondern nimmt sich auch historischer Themen an. Der vorliegende Artikel, der mit Erlaubnis der Firma Zeiss dem Heft 5 (2005) entnommen wurde, zeigt die historische Entwicklung und Verwendung von Immersionen in der Mikroskopie auf.

Robert Hooke (1635–1703) erörterte als Erster die Technik der Immersion: *that if you would have a microscope with one single refraction, and consequently capable of the greatest clearness and brightness, spread a little of the fluid to be examined on a glass plate, bring this under one of the globules, and then move it gently upward till the fluid touches and adheres to the globule.* Sein Vortrag *Lectures and Collections* aus dem Jahr 1678, veröffentlicht im gleichen Jahr in seinem Buch *Microscopium*, stellt somit den Beginn der Geschichte der Ölimmersionsobjektive dar.

Sir David Brewster (1781–1868) schlug 1812 die Immersion des Objektivs vor. Um 1840 fertigte Giovanni Battista Amicic (1786–1868) die ersten Immersionslinsen, die mit Anisölen benutzt wurden, die den gleichen Brechungsindex wie Glas hatten. Allerdings wurde diese Art der Immersion noch nicht dazu benutzt, um die Apertur zu steigern, sondern vielmehr um die chromatische Abberation zu korrigieren. Amici hatte dieses Problem schon zu Brewsters Zeiten erkannt. Aber weil die Objektträger damals sehr teuer waren, akzeptierten die Mikroskopiker des 19. Jahrhunderts die Ölimmersion noch nicht. Amici gab die Ölimmersion wieder auf und ging zur Wasserimmersion über. Wenig später, 1853, konstruierte er das erste Wasserimmersionsobjektiv und stellte es 1855 in Paris aus.

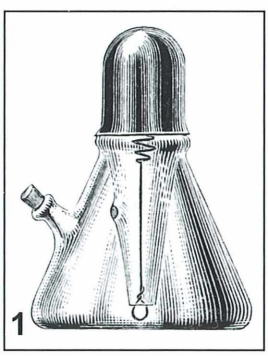
Im Jahr 1858 fertigte Robert Tolles (1820–1883) sein erstes Objektiv für die Wasserimmersion, das zwei austauschbare Frontoptiken besaß: Eine Optik für die Arbeit im trockenen Zustand und eine Optik für die Wasserimmersion. Rund 15 Jahre später, im August 1873, konstruierte Tolles sein berühmtes Objektiv 1/10 für homogene Immersion.

Edmund Hartnack (1826–1891), der 1859 seine ersten Wasserimmersionsobjektive ausstellte, fügte auch zum ersten Mal einen Korrektionsring hinzu. In den folgenden fünf Jahren verkaufte Hartnack rund 400 Stück.

Ab 1860 hatten auch viele deutsche Mikroskophersteller wie Bruno Hasert in Eisenach, Kellner in Wetzlar, G&S Merz in München und Hugo Schroder in Hamburg Wasserimmersionsobjektive im Programm. Aber Hartnacks Immersionsobjektive galten als die besten.

Auf der *Exposition Universelle* 1867 in Paris zeigte Ernst Gundlach (1834–1908) sein neues Immersionsobjektiv für Glycerin: Als Grund für die Entwicklung des Objektivs gab er an, ein Immersionsmedium nutzen zu wollen, das einen höheren Brechungsindex als Wasser hat.

1871 war es wiederum Tolles, der Neues zeigte: Er nutzte für die homogene Immersion das Immersionsmedium Kanadabalsam. Seine Entdeckung, dass Kanadabalsam den gleichen Brechungsindex wie das damals üblicherweise ver-



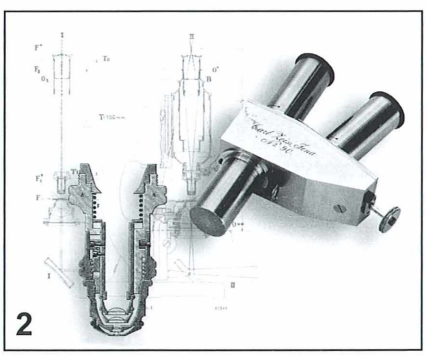


Abb. 1: Historisches Fläschchen für Immersionsöl. – Abb. 2: Historische Konstruktionszeichnung und Schnitt-Modell eines Immersionsobjektivs.

Copyright / Urheberrechtsvermerk: http://www.elsevier.de/

wendete Kronglas hat, blieb bis 1877 ungenutzt, bis Ernst Abbe eine Flüssigkeit entdeckte, die dafür geeignet war. Auch die Zeiss'schen Optischen Werkstätten in Jena fertigten 1871 erste Wasserimmersionsobjektive. Und bereits 1872 führte Carl Zeiss die Abbe'schen Wasserimmersionsobjektive ein. Im damaligen Zeiss Katalog wurden drei Objektive angeboten, die alle einen Öffnungswinkel von 180° aufwiesen. Sie hatten unterschiedliche Arbeitsabstände, aber stets eine numerische Apertur von 1,0. Und das Objektiv Nr. 3 besaß einen Korrektionsring.

Robert Tolles war weiterhin aktiv: Im August 1873 fertigte er ein dreilinsiges Objektiv für homogene Immersion in Balsam mit einer numerischen Apertur von 1,25 an. Das war das damals erstmals anerkannte homogene Immersionssystem für Mikroskope. Im gleichen Monat stellte er sein erstes Objektiv für Glycerinimmersion mit einer numerischen Apertur von 1,27 fertig.

Im August 1877 begann Carl Zeiss mit der Fertigung von Abbes Ölimmersionsobjektiven, die letztendlich unter dem Stichwort homogene Immersion bekannt wurden. Das Konzept der Zeiss'schen Ölimmersionsobjektive wurde durch die Arbeit von J. W. Stephenson beeinflusst, was Ernst Abbe beispielsweise 1879 in einem Vortrag vor der Jenaischen Gesellschaft für Medizin und Naturwissenschaft verdeutlichte.

1879 veröffentlichte Ernst Abbe in der Zeitschrift der *Royal Microscopical Society* den Beitrag *On New Methods for Improving Spherical Correction*. Darin beschreibt Abbe die Optik, die er 1873 in seinen Experimenten benutzte. Und er fügt hinzu, dass homogene Immersionssysteme das Erreichen einer Apertur im Grenzbereich der verwendeten und verfügbaren Optikmaterialien ermöglichen. Robert Koch gehörte zu den ersten, welche die Abbe'schen Ölimmersionsobjektive und auch das Abbe'sche Kondensorsystem in ihre Forschungszwecke einsetzten. 1904 hat Carl Zeiss das zehntausendste Objektiv für homogene Ölimmersion hergestellt.

Heute verwendete Immersionsmittel

Immersionsöl

Anfangs wurde natürliches Zedernöl verwendet. Durch allmähliches Eindicken ändert sich im Laufe der Nutzung der Brechungsindex; an der Luft verharzt es auf Dauer und wird fest.

Heute benutzt man nahezu ausschließlich synthetisches Immersionsöl (Abb. 1) mit einem gleich bleibenden Brechungsindex. Es verharzt nicht an der Luft und kann deshalb lange gelagert werden.

Glycerin

1,2,3-Propantriol – einfachster dreiwertiger Alkohol. Das griechische Wort glykerós bedeutet süß. Die zähflüssige, hygroskopische, süß schmeckende Flüssigkeit siedet bei 290 °C und erstarrt bei 18 °C. Glycerin ist mit Wasser und niederen Alkoholen mischbar. In der Mikroskopie wird für die Immersion eine Mischung aus Glycerin und Wasser benutzt. Schwerpunkt der Anwendung ist die UV-Mikroskopie, weil Glycerin UV-durchlässig ist.

Literaturhinweise

Anonymus: Ein neues zweckmäßiges Immersionsölfläschchen. Mikrokosmos *39*, 286 (1949/50).

Pijper, A.: A new way of applying immersion oil. J. Path. Bact. *59*, 486 (1947).

Teichert, G., Hausmann, K.: Ein Fläschchen Immersionsöl – Immersionsölfläschchen. Mikrokosmos *90*, 221–223 (1991).

fairgeben
fairsorgen
fairteilen

Foto: fairtrade media

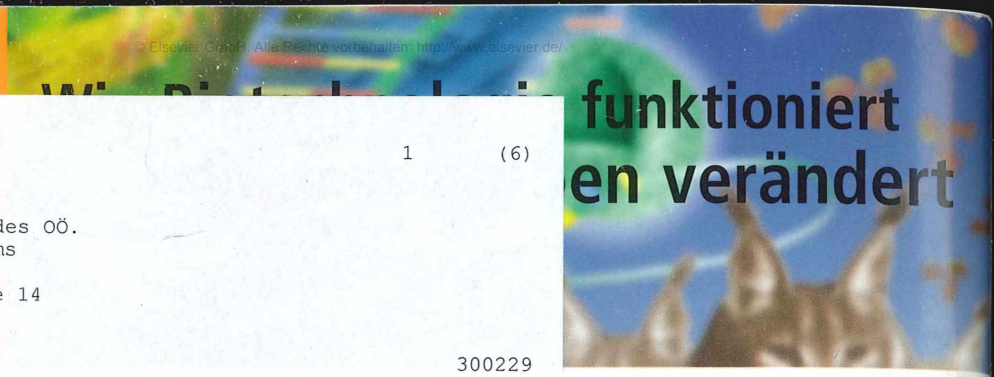
Gemeinschaft leben

„Brot für die Welt" tritt für die gerechte Verteilung unserer Güter und für faire Preise ein. Kleinbauern erhalten so einen angemessenen Lohn für ihre Arbeit und können damit die Existenz ihrer Familien sichern. Mit dem Kauf fairer Produkte übernehmen Sie dafür ein Stück Verantwortung.

Brot für die Welt
www.brot-fuer-die-welt.de

Postbank Köln
Konto 500 500-500
BLZ 370 100 50
Kennwort:
Gerechtigkeit

© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten: http://www.elsevier.de/



Mikrokosmos
4/2006 1 (6)

510543
Bibliothek des OÖ.
Landesmuseums

Museumstraße 14
4020 Linz

300229

Bestellen können Sie

- telefonisch:
  +49 (0) 70 71 93 53 69
- per Fax:
  +49 (0) 62 21 912 63 38
- per mail:
  bestellung@elsevier.de

www.elsevier.de

2005, 250 S., geb.
€ 39,50 / sFr 61,–
ISBN 3-8274-1538-1

Reinhard Renneberg

Biotechnologie für Einsteiger

Anschaulich erläutert dieses reich illustrierte Buch alle Bereiche der modernen Biotechnologie. Der Bogen spannt sich von der Herstellung von Bier und Wein bis zur Verwendung von Enzymen; von Antibiotika bis zu Impfungen und Immunoassays; vom Klonieren bis zu Stammzellen und DNA-Microarrays. Der fortlaufende Text ist unterhaltsam geschrieben und mit Stories, Cartoons und Anekdoten angereichert. Das Buch vermittelt schon beim Durchblättern die Überzeugung des Autors: Wissenschaft kann Spaß machen!

Erste Reaktionen:

„Hochaktuell und spannend wie ein Roman. Empfehle ich meinen Student(in)en – aber nicht als Bettlektüre, sonst verschlafen sie womöglich die Vorlesung."
Prof. Dr. Peter Fischer, Technische Fachhochschule Berlin

„Hervorragender, reich bebilderter Einstieg in die Faszination der Biotechnologie."
Prof. Dr. Ulrich Zaiß, Fachhochschule Wolfenbüttel

„Ein herrlich erfrischendes Lehrbuch, das begeistert und Lust auf mehr macht!"
PD Dr. Martin Bertau, Technische Universität Dresden

„Ein rundum gelungenes Buch, perfekt für Studienanfänger oder Quereinsteiger in die Thematik."
Dr. Oliver Vielhauer, Universität Karlsruhe

Wissen was dahinter steckt. Elsevier.

Sämtliche Preise verstehen sich zzgl. Versandkosten (Im Inland: € 3,50 pro Lieferung) – Preise unter Vorbehalt

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mikrokosmos, Zeitschrift für Mikroskopie

Jahr/Year: 2006

Band/Volume: 95_4

Autor(en)/Author(s):

Artikel/Article: Mikrokosmos 95_4 1