II 90372/98,3

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

ELSEVIER
URBAN & FISCHER

MIKROKOSMOS

Heft 3
98. Jahrgang
Mai 2009

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

Inhalt

Artikel

129 Kleinmikroskope
Rudolf Drews

133 Nicht immer nur auf der *Hydra* – Die Polypenlaus *Trichodina pediculus*
Hans-Jürgen Voß

137 MagniFlash – Der Makrokonverter mit lichtoptischer Blitzleitung
Sebastian Hess

147 Faszination Kristallchemie – Mikroskopische Einblicke in die chemische Steuerung des Kristallwachstums
Robert Sturm

153 Biomechanik von Flugsamen
Teil 1: Mikrostrukturierung und Verringerung der Sinkgeschwindigkeit der Fallschirmchen des Löwenzahns
Werner Nachtigall

159 UV-Schutz bei Pflanzen – Mikroskopisch demonstriert
Eberhard Schnepf

163 Kondensor und Objektiv: Ein unschlagbares Team, wenn man sie lässt
Teil 1: Theoretische Betrachtungen
Gerhard Kauer

170 Algen im Dienste der Klimaverbesserung
Klaus Hausmann

176 Einzeller im Zusammenleben mit Vielzellern
Teil 1: Symphorismus, Kommensalismus und Parasitismus
Klaus Hausmann und Renate Radek

181 Der Fichtennadelblasenrost *Chrysomyxa rhododendri* – Untersuchungen an Nadelquerschnitten
André Advocat und Klaus Herrmann

187 Ein Kastenmikroskop von Johann Heinrich Tiedemann
Erich Steiner

Rubriken

158, 169
Buchbesprechung

174
Mikro-Lyrik

175
Aus der Industrie

185
Kurze Mitteilung

186
Micro-Toon

162, 191
Nachricht

191
Aus den Arbeitsgemeinschaften

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: Fangblatt des Sonnentaus, beleuchtet mit dem MagniFlash.
Siehe Artikel S. Hess, S. 137–146.

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

Kleinmikroskope

Rudolf Drews

Der Mikroskopbau erfuhr zum Ende des 19. Jahrhunderts eine stürmische Entwicklung, welche sich auch in so genannten Kleinmikroskopen widerspiegelte. Deren recht gute optische Qualität bis zu einer 200fachen Vergrößerung machte sie als Reise- beziehungsweise Exkursionsmikroskop geeignet.

Als eines der ersten Kleinmikroskope kann das einfache, aus nur einer Linse bestehende Mikroskop von A. van Leeuwenhoek (1632–1723) gelten. Gleichzeitig existierten auch schon kleine zusammengesetzte, also aus Augenlinse (Okular) und Objektiv bestehende Geräte. Wegen ihrer geringen Größe wurden sie bei der Beobachtung in der Hand gehalten, und zwar bei der Hellfeldbeleuchtung gegen das Licht, da sich die Verwendung eines Spiegels noch nicht etabliert hatte. Auch die so genannten Zirkelmikroskope des 18. Jahrhunderts, bei welchen die Fokussierung durch unterschiedliche Winkelstellung der Zirkelarme, die Linse beziehungsweise Objekt trugen, erfolgte, hielt man mit der Hand.

Größere zusammengesetzte Mikroskope bekamen ein Stativ, wodurch der Strahlengang in eine senkrechte Lage geriet. Das erforderte nun einen Spiegel und ein Objekttisch erwies sich als sinnvoll. Ein festes Stativ bahnte auch den Weg zu neuen Fokussiermöglichkeiten. Etwa von der Mitte des 19. Jahrhunderts an setzte in England wie auf dem Kontinent eine Phase vielfältiger Mikroskopkonstruktionen ein. In dieser Zeit begannen die Kleinmikroskope in Design und Funktion vereinfachte Abbilder ihrer großen Brüder zu werden (Abb. 2 und 3). Hier wie dort war das Baumaterial Messing oder Eisen plus Messing. Die Grobfokussierung geschah durch Verschieben des Tubus oder später durch dessen Bewegung mit Zahnrad und Zahnstange.

Zusammengesetzte Handmikroskope im 17. und 18. Jahrhundert

Die frühen Mikroskope des 17. und 18. Jahrhunderts waren gewöhnlich aus Holz, Pappe und Leder gefertigt. Daneben wurde Messing, gelegentlich auch Silber benutzt. Die in Abbildung 1 gezeigten zusammengesetzten Mikroskope bestehen aus den drei erstgenannten Ma-

Abb. 1: Zusammengesetzte Handmikroskope um 1700; links ein Mikroskop vom Screw-barrel-Typ (aus Turner, 1981).

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

terialien. Die drei linken Geräte fokussieren mit Hilfe eines in einer Führung laufenden Tubusgewindes, während bei dem rechten Mikroskop der Tubus verschoben wird. Das kleine linke Gerät ist vom so genannten Screw-barrel-Typ, wo außer dem Gewindetubus noch eine Klemmvorrichtung für den Objektträger (im Foto ein so genannter Aalkieker) besteht. Eine Klemmvorrichtung mit Feder ist bei dem rechten Mikroskop ebenfalls vorhanden und gut zu erkennen. Die beiden mittleren Mikroskope sind konstruktionsbedingt nur für Auflichtbeobachtung geeignet.

Historische Mikroskope im 19. Jahrhundert

Die Abbildungen 2a und c zeigen zwei einfache Mikroskope, wobei man das Gerät in Abbildung 2c auch als Handlupe bezeichnen könnte. Es besitzt eine bikonvexe, in der Mitte blendenartig eingezogene Linse (Coddington-Linse). Derartige Lupen gab es in der Mitte des 19. Jahrhunderts in England. Die Vergrößerung des linken Handmikroskops (Abb. 2a) ist höher. Die Abbildung 2b zeigt einen mit diesem Gerät mit aufgesetzter Digitalkamera fotografierten Fliegenrüssel. Die Funktion dieses Handmikroskops geht aus dem Foto hervor. Zur Beobachtung bringt man die Linse dicht vor das Auge und hält das Mikroskop gegen das Licht. Abbildung 3a zeigt ein ähnliches Gerät mit einem Spiegel. So wird hier an Geräten der Zeit um 1900 gleichsam die technische Entwicklung wiederholt, die sich vor hundert und mehr Jahren abgespielt hatte.

Ein Mikroskop mit der Hand zu halten bietet sich an, wenn mehreren Personen ein mikroskopisches Objekt zur Beobachtung herumgereicht werden soll. Diese Praxis wurde etwa am Ende des 19. Jahrhunderts mit unterdessen ausgereifter Optik und der Konstruktion von Demonstrationsmikroskopen (Abb. 2d und e) wieder aufgegriffen.

Das abgebildete Gerät ist etwa 20 cm hoch. Der Objektträger wird in den Boden geklemmt, der mit einem Loch (Blende) versehene Deckel verschließt den Raum. Fokussiert wird durch

Abb. 2: a Einfaches Handmikroskop; b hiermit vergrößertes Mikropräparat; c einfaches Mikroskop mit Coddington-Linse, um 1860; d und e Demonstrationsmikroskop, um 1880; f Trommelmikroskop von R. Wasserlein, um 1870; g frühes Mikroskop von E. Leitz; h Leitz-Mikroskop mit Parallelogramm-Feintrieb; i Kleinmikroskop mit Tischfokussierung und Auflicht-Sammellinse, um 1880.

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

Verschieben des Tubus. Das Bodendach ist verspiegelt (Lieberkühn-Spiegel), wodurch bei nicht zugedeckeltem Raum das Objekt bei Verwendung eines Dunkelfeldes im Auflicht beobachtet werden kann.

Die vier Mikroskope in Abbildung 2f–i sind Beispiele für unterschiedliche Vorrichtungen zur Feinfokussierung der Zeit um und vor 1900, die auch bei größeren Geräten zu finden waren. Bei dem kleinen Leitz-Mikroskop von 1870 (Abb. 2g), das noch mit einem Kellner-Objektiv, dessen Linsen einzeln zu verwenden sind, ausgestattet ist, findet die Feineinstellung durch Schrägstellung der oberen Tischplatte mittels einer unter dem Tisch befestigten Rändelschraube statt. Das ebenso große (ca. 25 cm hohe) Leitz-Mikroskop (Abb. 2h) daneben tätigt die Feineinstellung durch Heben oder Senken des Tubusträgers an den gelenkig mit der Stativsäule verbundenen Trägern. Die Fein-

Abb. 3: Kleinmikroskope zwischen 1870 (a) und 1920 (h). a Einfaches Mikroskop, alle übrigen sind zusammengesetzte Geräte; Höhe 15 cm (b) bis 21 cm (g).

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

fokussierung des Mikroskops in Abbildung 2i erfolgt durch Höhenverstellung der oberen Tischplatte mittels der links unter dem Tisch sichtbaren Vorrichtung. Außerdem besitzt das Gerät eine Linse zur Bündelung des Lichts bei Auflichtbeobachtung.
Das kleine (18 cm hohe) Trommelmikroskop der alten Berliner Firma R. Wasserlein (Abb. 2f) ist insofern modernisiert, als es einen auf die Trommel aufgesetzten Tisch mit einer Tischneigungsschraube zur Feinfokussierung besitzt. Weil bei einem Trommelmikroskop – bekannt ist dieser Typ besonders von den größeren Trommelmikroskopen Oberhäusers vor 1860 – die Einfallsrichtung des Lichtes auf den Spiegel begrenzt ist, wurden Stative entwickelt, bei welchen der Spiegel allseitig frei war. Zusätzlich erhielt er zwei weitere Gelenke. Als Kleinmikroskop wurde das Trommelmikroskop jedoch weiterhin bis in das 20. Jahrhundert gebaut.

Kleinmikroskope zwischen 1870 und 1920

Das Mikroskop in Abbildung 3a ist ein einfaches Mikroskop mit Spiegel von circa 1920, Abbildung 3b zeigt ein 15 cm hohes Trommelmikroskop, wie es schon 1840 gebaut wurde; bei Abbildung 3c besitzt das Gerät eine kleine Säule. Die anderen Mikroskope (Abb. 3d–h) zeigen unterschiedliche Füße, wie sie auch größere Mikroskope der Zeit besaßen. Die Geräte in Abbildung 3f–h fokussieren durch Heben und Senken des Tubus mittels eines Triebrades. Bei den Geräten (f) und (h) greift das Zahnrad in eine Kerbenreihe des Tubus (anstelle einer Zahnstange), bei dem Mikroskop (g) nimmt das Triebrad einen seitlichen Tubuszapfen mit. Fast alle Kleinmikroskope besitzen bis heute sehr kleine Objektive. Während solche um die Mitte des 19. Jahrhunderts als einheitliche Linsensysteme auch bei großen Mikroskopen anzutreffen waren, sind die Objektive der Kleinmikroskope oft in gekennzeichnete Einzellinsen zerlegbar, welche dann für verschiedene Vergrößerungen einzeln zu benutzen waren.

Heutige Mikroskope

Die heute gebauten Kleinmikroskope sind im Gegensatz zu denen des 19. und beginnenden 20. Jahrhunderts trotz Beleuchtung und Objektivrevolver meistens Spielzeug aus Aluminium, Plastik und Kunststofflinsen. Aber es gibt auch Ausnahmen. Erwähnt seien hier nur die kleinen Exkursionsgeräte der Rathenower Optischen Werke (ROW) und das hervorragende kleine Inversmikroskop von Swift. Aber auch die älteren hier vorgestellten kleinen Messingmikroskope, welche meist in einem Edelholzkästchen transportiert werden, sind wegen ihrer guten optischen Leistung durchaus als Exkursionsgeräte zu empfehlen.

Literaturhinweise

Ey, J. A. (ed.): The Billings Microscope Collection. Armed Forces Institute of Pathology. Washington 1974. Nachdruck 1987.
Moe, H.: Mikroskopets Historie. Rhodos-Verlag, Kopenhagen 1990.
Turner, G.: Mikroskope. Callwey Verlag, München 1981.

Verfasser: Rudolf Drews, Straße 366, Nr. 3, 13503 Berlin, E-Mail: opalinaebony@t-online.de

Foto: Ralf Krämer

Friedensstifter
Sie für Ihr Patenkind. Ihr Patenkind für seine Welt.

Eine Patenschaft bewegt. Werden Sie Pate!

Für mehr Informationen rufen Sie uns an:
0180 33 33 300
(9 Cent/Min. aus dem dt. Festnetz; Mobilfunktarif ggf. abweichend)

Kindernothilfe e. V.
Düsseldorfer Landstraße 180
47249 Duisburg
www.kindernothilfe.de

KINDER NOT HILFE

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

Nicht immer nur auf der Hydra – Die Polypenlaus Trichodina pediculus

Hans-Jürgen Voß

In der Mikroskopie spielt der Zufall eine nicht zu unterschätzende Rolle, denn er beschert doch hin und wieder das eine oder andere unerwartete Seherlebnis. So ist es auch im vorliegenden Fall geschehen, wo die gezielte Suche nach diversen Cyanobakterien in einer Teichwasserprobe zwar nicht die erhoffte Begegnung mit den Blaualgen, sondern mit der Polypenlaus *Trichodina pediculus* erbrachte.

Die vom Uferrand eines Stadtparkteiches geschöpfte Teichwasserprobe enthielt allerlei Detritus. Bei der ersten orientierenden Durchmusterung fiel eine kleine Anzahl von wenigen Millimeter messenden Würmchen auf, die als Vertreter der Gattung *Chaetogaster* bestimmt werden konnten (Engelhardt, 1985; Streble und Krauter, 2006). Die völlig durchsichtigen *Chaetogaster*-Individuen besitzen Borsten auf der Bauchseite, und im Kopfbereich ist ein sackartiger Schlund mit großer Mundöffnung gut zu erkennen (Abb. 1).
Bei der Vermehrung bilden die Individuen Tierketten, von denen sich kleinere, aber reife Exemplare einfach abschnüren. Einige dieser abgeschnürten Tiere zeigten kleine kurz-zylindrische Erhebungen auf der Haut (Abb. 2). Bei eingehender Betrachtung konnten diese Erhebungen als Ciliaten identifiziert werden, die lebhaft auf dem Wurm hin und her glitten, unter Rotation um ihre Körperlängsachse am Ort verharrten oder den Wurm verließen, kurz ins freie Wasser hinaus schwammen, um alsbald die Wurmoberfläche wieder aufzusuchen (Abb. 3 und 4). Weder kräftige Schlängelbewegungen des Wurmes noch wiederholtes Anstoßen an feste Detrituspartikel bewirkten ein vollständiges Ablösen dieser Wimpertiere. Es handelte sich dabei um Polypenläuse (*Trichodina pediculus*). Bereits 1675 entdeckte van Leeuwenhoek diese Organismen auf Süßwasserpolypen, die bis in die heutige Zeit eher als Polypenläuse denn als Trichodinen bekannt sind (Dobell, 1932).

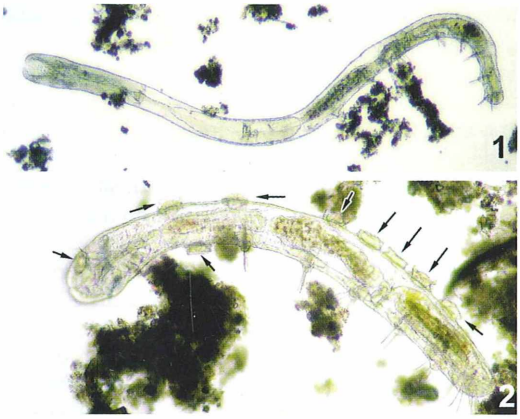
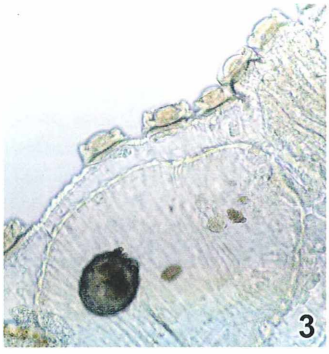


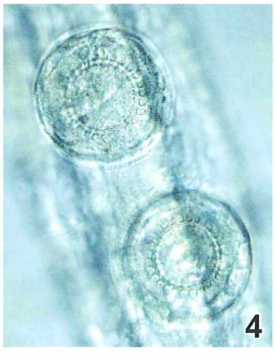
Abb. 1: Der Gliederwurm *Chaetogaster* – ein Wenigborster (Oligochaet). – Abb. 2: Ein von einer Tierkette abgeschnürter Jungwurm mit Trichodinenbesatz (Pfeile).

Trichodinen als Läuse auf Süßwassertieren

Trichodinen sind peritriche Wimpertiere aus der Unterordnung Mobilia und der einzigen Familie Urceolariidae (von lat. urceolus = kleiner Krug). *Trichodina pediculus* besiedelt in der Regel Süßwasserpolypen und -medusen, Moostierchen, Amphibienlarven sowie junge und erwachsene Fische. Für eine Besiedlung auf *Chaetogaster*-Arten findet sich in der Literatur noch kein Hinweis (Foissner et al., 1992; Foissner et al., 1999; Hausmann, 1999).
Ehrenberg hat 1838 diese Ciliaten in seinem Werk *Die Infusionsthierchen als vollkommene Organismen* abgebildet und gründlich beschrieben. Seinerzeit hielt Ehrenberg diese Ciliaten tatsächlich für einen den Süßwasserpolyp schädigenden Parasiten, denn er erkannte in dem Zellkörper „kleine Krallen", die offenbar dazu geeignet seien, die Polypenhaut zu öffnen und zu schädigen (Abb. 4). Heute weiß man, dass *Trichodina* sich als Filtrierer vorwiegend von Bakterien ernährt, die sich möglicherweise auch im Bereich der *Chaetogaster*-Haut aufhal-

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





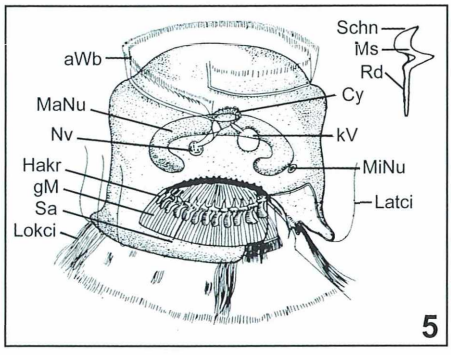


Abb. 3: Eine Trichodinengruppe auf *Chaetogaster*. –Abb. 4: Trichodinen in der Aufsicht mit den charakteristischen Hakenkränzen. – Abb. 5: *Trichodina*, schematisch; rechts ist ein Haken in Profilansicht abgebildet. aWb adorales Wimpernband, Cy Cytostom, gM gestreifte Membran, Hakr Hakenkranz (Haftring), kV kontraktile Vakuole, Latci Lateralcilien, Lokci Lokomotionscilien, MaNu Makronukleus, MiNu Mikronukleus, Ms Mittelstück, Nv Nahrungsvakuole, Rd Radialdorn, Sa Saum, Schn Schneide [kombiniert aus Haider (1964) und Matthes und Wenzel (1966)].

ten. *Chaetogaster* trägt ja durch seine Wühltätigkeit im Detritus die aufsitzenden Trichodinen in ein bakterienreiches Mikromilieu, so dass man bei diesem System von Kommensalismus sprechen kann.
Die Fähigkeit, mit dem Zellkörper sowohl auf dem Wirt haften als auch kreiselnde Bewegungen machen zu können, kommt in der eigenartigen und faszinierenden Organisation dieser Wimpertiere zum Ausdruck. Grund genug also, um Übereinstimmungen zwischen Aufbau und Lebensweise eines Ciliaten aufzuzeigen (Schneider, 1979, 1990).

Die äußere Morphologie

Die Gestalt des Ciliaten gleicht einer runden Dose mit einem Durchmesser von circa 40 bis 100 µm und einer Höhe bis 40 µm, wobei die Form nicht gleichmäßig ist. Die Zylinderform ist je nach physiologischem Zustand der Ciliaten veränderlich. Die Mantelfläche ist oft nach außen vorgewölbt oder in anderen Fällen konkav eingezogen, was für die Art *Trichodina pediculus* charakteristisch ist. Die Profilansicht erinnert daher an eine Sanduhr. Die Deckelseite stellt die Mundeinrichtung, das Peristom des Ciliaten dar. Die Deckelfläche ist ringsum eingezogen und zur Mitte hin erhöht (Abb. 6). Um den Rand herum läuft – wie es für die Peritrichen typisch ist – in einer Linksspirale ein Wimpernband. Dieses adorale, das heißt zum Zellmund (Cytostom) führende Wimpernband ist aus zwei Cilienreihen aufgebaut und für die Bestimmung der Urceolariiden-Gattungen wichtig (Hausmann und Hausmann, 1981a): Für die Gattung *Trichodina* ist ein Umlauf von 360°–400° charakteristisch (Abb. 7–9). Die Schlagtätigkeit dieser Peristombewimperung und die Eigenrotation der Zelle wirken dabei derart zusammen, dass sich *Trichodina* in seinen eigenen Nahrungsstrudel hineindreht. Die Nahrungszufuhr wird dadurch intensiviert (Haider, 1964). Von den Organellen des Zellinneren sind Nahrungsvakuolen, die kontraktile Vakuole und der Makronukleus erkennbar (Abb. 10). Der Makronukleus ist wurstförmig und hufeisenförmig gebogen; beim Fokussieren werden am lebenden Tier daher mehr oder weniger große optische Schnitte sichtbar.

Der Aufbau der Hafteinrichtung

Statt einer für peritriche Ciliaten typischen Einrichtung zum dauerhaften Festsitzen sieht man bei *Trichodina* an der Unterseite ein hoch entwickeltes Organell, das sowohl ein Haften mit unterschiedlicher Intensität als auch ein Gleiten auf dem Substrat ermöglicht. Der faszinierende, rotationssymmetrische Aufbau dieser kombinierten Haft- und Bewegungseinrichtung lässt sich am besten aus dem Vergleich von der Zeichnung (Abb. 5) mit den Mikrofotos (Abb. 11–15) erschließen.
In der Aufsicht sieht man, dass die Elemente dieser Einrichtung in konzentrischen Kreisen ange-

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

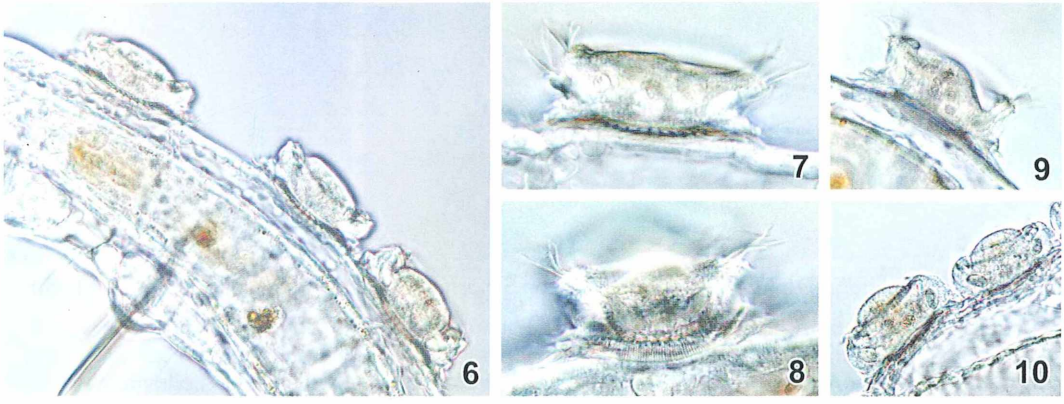


Abb. 6–10: *Trichodina*, Seitenansicht. – Abb. 6: Die hochgewölbte Oberseite ist gut erkennbar. – Abb. 7 und 8: Man beachte die Cilien des zweireihigen adoralen Wimpernbandes. – Abb. 9: Der Fokus liegt auf der trichterförmigen Vertiefung (Vestibulum), die zum Cytostom führt. – Bild 10: Der optische Schnitt zeigt einen Abschnitt des wurstförmigen Makronucleus und im linken Tier zwei mit Bakterien gefüllte Nahrungsvakuolen.

ordnet sind. Diese Elemente liegen nicht immer in einer Schärfeebene, da die ganze Unterseite von *Trichodina* uhrglasförmig nach innen gewölbt ist. Im Zentrum erkennt man einen wenig strukturierten, plasmatischen Bereich. Dieser wird vom Hakenkranz umschlossen. Der Hakenkranz setzt sich bei *Trichodina pediculus* aus 24–36 Einzelgliedern, den Haken, zusammen. Anzahl und Aussehen der Haken sind wiederum wichtige diagnostische Merkmale zur Unterscheidung der einzelnen *Trichodina*-Arten (Hausmann und Hausmann, 1981b). Die auf *Chaetogaster* gefundenen Trichodinen hatten eine durchschnittliche Anzahl von 30 Haken.

Abbildung 5 zeigt einen Haken vom *Trichodina*-Typ im Umriss. Dieser besteht aus Schneide, Mittelstück und Radialdorn. Die Anordnung dieser Haken erkennt man in den Abbildungen 13–15: Die Spitze eines jeden Mittelstücks steckt immer im Hohlraum des benachbarten Hakens. So entsteht ein widerstandsfähiges, aber gleichzeitig elastisches Ringgebilde, bei dem die Schneiden zur Peripherie und die Radialdornen in Richtung plasmatischer Zentralraum weisen.

Als Nächstes folgt – immer von innen nach außen betrachtet – ein kreisförmiges Band. Dies ist die so genannte gestreifte Membran mit ihren radial umlaufenden, zu Peripherie hin breiter werdenden Versteifungsstreifen.

Die bisher angesprochenen Elemente der Hafteinrichtung liegen nicht etwa frei, sondern sind durch eine Plasmamembran mit darunter liegendem Vakuolensystem (= Pellicula) bedeckt, so dass keines dieser Elemente direkten Kontakt mit der Unterlage hat. Den Ursprung des dritten konzentrischen Elementes, des Saumes, markiert eine deutliche Grenzlinie. Der Saum besteht aus einer zarten plasmatischen Membran und bildet die äußere Begrenzung der Haftscheibe. Auch der Saum weist eine Streifung auf, die aber sehr viel feiner als die der gestreiften Membran ist. Dicht über dem Saum entspringt ein schmaler Ciliengürtel. Die Wimpern dieses Ciliengürtels sind untereinander verbunden und fungieren daher wie eine undulierende Membran. Zuletzt, also ganz außen, inserieren die kräftigen Lokomotionscilien, mit denen *Trichodina* auf dem Wirt umherwandern

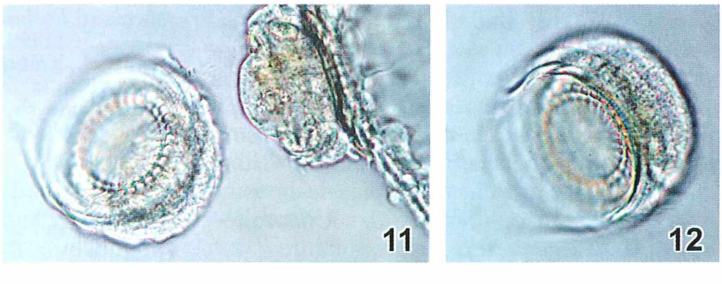


Abb. 11 und 12: Abbildung 11 zeigt ein festsitzendes und ein gerade abgelöstes, Abbildung 12 ein frei schwimmendes *Trichodina*-Individuum. Bei Letzterem sind Lokomotions- und Lateralcilien erkennbar.

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

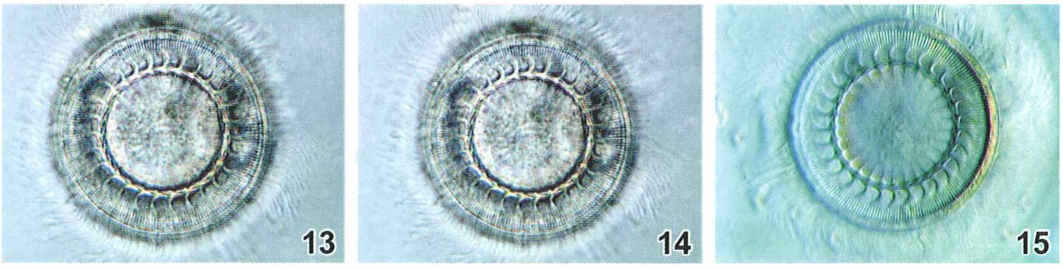


Abb. 13–15: *Trichodina*, Unterseite in verschiedenen Schärfeebenen und Beleuchtungsarten; vgl. mit Abbildung 5; Erläuterungen siehe Text.

kann und zu schwimmen vermag. In diesem Zusammenhang sei auf Hausmann (1985) verwiesen, der zur Untersuchung des Haftapparates von *Trichodina* die Zugabe des Detergens Triton X-100 in Konzentrationen von 0,1 bis 1% empfiehlt. Durch diese Manipulation wird der Haftapparat als Ganzes oder in Einzelelementen freigelegt.

Der Saugvorgang

Haider (1949) konnte durch verschiedene Versuche überzeugend nachweisen, dass sich *Trichodina* durch Ansaugen an der Unterlage festheftet. Durch unterschiedliche Kontraktionen von bestimmten Filamentsystemen in der Ciliatenzelle und den dadurch erfolgenden Volumenveränderungen innerhalb der Saugkuppel kann die Saugkraft variiert werden (Hausmann und Hausmann, 1981b). Foissner, Berger und Kohmann (1992) konnten anhand rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen eindrücklich dokumentieren, wie durch dieses Saugvermögen eine Kraft entwickelt wird, die groß genug ist, die Epidermis des Wirtes kuppelförmig aufzuwölben. Dieses Ansaugen funktioniert ähnlich wie bei einen Gummisaugnapf und setzt wie bei diesem einen dichten Abschluss des druckverdünnten Raumes, also der Saugkuppel, von der Unterlage voraus. Dies wird bei *Trichodina* durch die Peripherie der gestreiften Membranstruktur und durch den Cilien tragenden Saumbereich gewährleistet. Der Saugeffekt bei *Trichodina* ist allerdings wesentlich vollkommener als bei einem Gummisaugnapf, denn er funktioniert nicht nur auf glatten, sondern auch auf unebenen Oberflächen. Grund dafür ist der elastische, aus Einzelelementen aufgebaute Haftring, der sich den Unebenheiten der Unterlage perfekt anpassen kann.

Literaturhinweise

Dobell, C.: Antony van Leeuwenhoek and his "little animals". Bale, Sons & Danielsson, London 1932.

Ehrenberg, Ch.: Die Infusionsthierchen als vollkommene Organismen. Verlag v. L. Voss, Leipzig 1838.

Engelhardt, W.: Was lebt in Tümpel, Bach und Weiher? Pflanzen und Tiere unserer Gewässer in Farbe. Kosmos-Verlag, Stuttgart 1985.

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

Foissner, W., Berger, H., Schaumburg, J.: Identification and ecology of limnetic plankton ciliates. Informationsberichte des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 3 (1999).

Haider, G.: Monographie der Familie Urceolariidae (Ciliata, Peritricha, Mobilia). Parasitolog. Schriftenr., Heft 17 (1964).

Hausmann, K.: Polypenläuse (Trichodinen) auf den Tentakeln der Süßwassermeduse *Craspedacusta sowerbii*. Mikrokosmos 68, 1–9 (1979).

Hausmann, K.: Protozoologie. Thieme-Verlag, Stuttgart 1985.

Hausmann, K., Hausmann, E.: Structural studies on *Trichodina pediculus* (Ciliophora, Peritricha). I. The locomotor fringe and the oral apparatus. J. Ultrastruct. Res. 74, 131–143 (1981a).

Hausmann, K., Hausmann, E.: Structural studies on *Trichodina pediculus* (Ciliophora, Peritricha). II. The adhesive disc. J. Ultrastruct. Res. 74, 144–155 (1981b).

Matthes, D., Wenzel. F.: Wimpertiere (Ciliaten). Einführung in die Kleinlebewelt. Kosmos-Verlag, Stuttgart 1966.

Schneider, H.: Die Polypenlaus *Trichodina pediculus*. Mikrokosmos 68, 349–353 (1979).

Schneider, H.: Ein reizvolles Studienobjekt: Die Polypenlaus *Trichodina pediculus*. Mikrokosmos 79, 147–156 (1990).

Streble, H., Krauter, D.: Das Leben im Wassertropfen – Mikroflora und Mikrofauna des Süßwassers. Ein Bestimmungsbuch, 10. Auflage. Kosmos-Verlag, Stuttgart 2006.

Verfasser: Dr. Hans-Jürgen Voß, Am Dornbusch 42, 46244 Bottrop, E-Mail: tichy-voss@t-online.de

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

MagniFlash – Der Makrokonverter mit lichtoptischer Blitzleitung

Sebastian Hess

Bezüglich der apparativen Gegebenheiten existiert für Begeisterte der Kleinlebewelt eine spürbar weniger gut ausgestattete Zone zwischen Objekten für das zusammengesetzte Lichtmikroskop und der Fotografietechnik mit Kameras, möchte man in diesem Bereich auch Fotografien hoher Qualität anfertigen. Aufgrund des großen Wertes für die Erkennung in der Natur und die oftmals hohe Ästhetik besteht die Motivation, die mikroskopisch untersuchten Objekte in ihrer makroskopischen Erscheinung abzubilden. Wie das Stereomikroskop sind viele Lösungen auf den stationären Einsatz im Labor beschränkt.

Die 2007 entstandene neue Entwicklung eines Makrokonverters mit lichtoptischer Blitzleitung namens MagniFlash stellt ein auf viele Kameratypen passendes System zur mobilen Makrofotografie dar. Der folgende Artikel stellt Aufbau, Funktion, Einsatzgebiete und Ergebnisse vor und vergleicht zudem mit bestehenden Lösungen.

Problemstellung und Motivation

Als angehender Biologe und begeisterter Freund von Moosen, Flechten, Schleimpilzen und makroskopischen Algen habe ich bei meinen Exkursionen den Anspruch, neben dem Sammeln von Proben für die Mikroskopie, die Objekte bereits in der Natur fotografisch zu dokumentieren. Besonders betrifft dies Objekte, die fragil oder vergänglich sind, sodass sie bei einem Transport nur schlecht erhalten bleiben. Es bestand das konkrete Problem, eine Möglichkeit der Makrofotografie zu entwickeln, die hohe Vergrößerungen in Kombination mit einer guten Ausleuchtung des Objektes mit Blitzlicht bietet. Dies sollte möglichst kompakt und praktisch auch für den mobilen Einsatz in der Natur realisiert werden.

Zum Stand der Technik

Die heutigen Mikroskope mit hoher Qualität optischer sowie mechanischer Komponenten erlauben es, an diese eine Kamera zu adaptieren. So ist es möglich, die Beobachtungen der Mikrowelt auf Film/Chip zu bannen und andere Menschen mit den eigenen Beobachtungen zu konfrontieren. Im Falle von Objekten, die in ihrer Größe zwischen einem Millimeter und einem Zentimeter liegen, liefert das Mikroskop oft nur unbefriedigende Bilder dieser meist auch räumlich sehr ausgedehnten Objekte. Sie sind für die Mikroskopfotografie zu groß und für die herkömmliche Makrofotografie zu klein.

Das Stereomikroskop gelangt in diesen Vergrößerungsbereich und ist vor allem durch das stereoskopische Bild ein hervorragendes Untersuchungs- und Präparationsgerät. Zur Fotografie sind die meisten Geräte jedoch nicht zu empfehlen. Bis auf wenige, sehr kostspielige Modelle besitzen sie eine Optik, die den anspruchsvollen Fotografen nicht befriedigt, und eine Irisblende zum Abblenden ist die Ausnahme. Daher sind viele ambitionierte Fotografen kleiner Objekte nach ausgedehnten Versuchen am Stereomikroskop wieder zu Makroobjektiven und anderen fotografischen Alternativen (z. B. Auszugsverlängerungen, Stacking von Mikroskopaufnahmen) zurückgekehrt. Das plastische Bild, welches das menschliche Gehirn aus den beiden Einzelbildern des Stereomikroskops entwirft, täuscht wohl jeden einmal erfolgreich über die unzureichende Bildqualität vieler dieser Geräte für die Makrofotografie hinweg.

Um Fotografien mit einem Abbildungsmaßstab größer 1:4, so genannten Makroaufnahmen, anzufertigen, existieren derzeit verschiedene Möglichkeiten. Makroobjektive als hochwertige Wechselobjektive für Aufnahmen im Mak-

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

robereich können nur an Systemkameras betrieben werden. Neben dem Nachteil des oftmals großen Gewichtes von Kamerasystemen und des vergleichsweise hohen Anschaffungspreises erreicht man mit Makroobjektiven ohne zusätzliche Auszugsverlängerung (Zwischenringe, Balgen) maximal einen Abbildungsmaßstab von 1:1. Die so genannten Lupenobjektive wurden vorwiegend in den 60er und 70er Jahren gebaut und werden heute kaum noch angeboten. Mit diesen sehr kostspieligen Spezialobjektiven kann man zwar Abbildungsmaßstäbe von 1:1 bis 20:1 erreichen, doch ist häufig auch ein Balgengerät erforderlich, sodass dieses System oft nur stationär oder mit Stativ Anwendung findet. Des Weiteren gibt es für Kamerasysteme noch Zwischenringe oder das Balgengerät, um einfach den Abstand von Objektiv und Bildebene zu vergrößern und somit den Abbildungsmaßstab zu erhöhen.

Für Kameras mit fest eingebautem Objektiv sind Nahlinsen erhältlich. Eine solche wird vor das bestehende Objektiv der Kamera geschraubt und stellt meist eine bikonvexe Vergrößerungslinse von 1 bis 4 dpt, höchstens 10 dpt dar. Viele dieser Linsen sind weder chromatisch noch sphärisch korrigiert und erzeugen für den aufmerksamen Makrofotografen unerwünschte Aberrationen.. Zudem erreicht man mit handelsüblichen Nahlinsen höchstens einen Abbildungsmaßstab von circa 1:1.

Bis auf die Nahlinsen sind die genannten Möglichkeiten zur Makrofotografie durch hohes Gewicht, große Abmessungen oder die Anzahl der zusätzlich benötigten Einzelteile mobil nur mit Einschränkungen anwendbar. Anteil daran hat bei den zuvor genannten Lösungen zur Makrofotografie in der Natur das Problem der Beleuchtung. Durch die hohe Vergrößerung sind die Makroaufnahmen immens empfindlich gegenüber Bewegungen der Kamera in Relation zum Objekt. Abhilfe schaffen entweder lange Belichtungszeiten in Kombination mit einem Stativ oder extrem kurze, welche unbedingt eine hohe Lichtintensität erfordern. Die teils recht geringen Gegenstandsweiten (20–100 mm) machen es unmöglich, mit dem integrierten Kamerablitz das Objekt auszuleuchten oder führen oftmals zu unschönen Ergebnissen, da das Objektiv beziehungsweise der vergrößernde Aufsatz das Objekt beschattet. Abhilfe schaffen die für Kamerasysteme erhältlichen Ring- und Zangenblitzgeräte, die mit dem Kamerablitz synchronisiert sind. Durch dieses notwendige, oft teure Zubehör steigt der Umfang der Ausrüstung weiter an, was den unkomplizierten Einsatz in der Natur behindert.

Das MagniFlash-System

Dies war Motivation genug, ein mobiles und unkompliziertes Makrofotografie-System zu entwickeln, welches hohe Vergrößerungen in Kombination mit einer guten Ausleuchtung des Objektes bietet. Das Resultat ist der MagniFlash, ein Makrokonverter mit lichtoptischer Blitzleitung, der sich sowohl mit Kompaktkameras als auch mit Systemkameras kombinieren lässt (Abb. 1 und 2). Er schlägt mit erstaunlich hohen Vergrößerungen und brillanter Bildqualität die Brücke zwischen Makrofotografie und Mikroskopie.

MagniFlash besteht aus einem vergrößernden Linsensystem und einer flexiblen Blitzlichtleitung auf der Basis Polymer-optischer Fasern. Er wird auf einfache Weise über die Bajonettfassung der Kompaktkamera oder über das Gewinde des betreffenden Objektivs vor demselben montiert. Dabei wird über die Lichtwellenleiter eine optische Verbindung von kameraintegriertem Blitz zum Objekt geschaffen. Über diese wird das Blitzlicht in einen Diffusor (Streuring) aus Polymethylmethacrylat (PMMA, Acrylglas) geführt, in dem es über Totalreflexion in die Brennebene der Linsenanordnung geleitet wird. Die mattierte Oberfläche des Diffusors sorgt für eine zusätzliche Streuung des Lichtes. Durch diese Anordnung wird die Belichtung des Objektes mit Hilfe des integrierten Kamerablitzes ermöglicht und es resultiert eine homogene und weiche Ausleuchtung des Bildfeldes, wie es auch für Ringblitze typisch ist. Das Blitzen im extremen Makrobereich macht Belichtungszeiten von nur wenigen zehntausendstel Sekunden möglich und die hohe Lichtdosis erlaubt die Wahl großer Blendenzahlen. Dadurch sind Bewegungsunschärfen sowie ein Verwackeln des Bildes nahezu ausgeschlossen und es wird ein Maximum an Schärfentiefe erreicht. Das Linsensystem von MagniFlash wirkt prinzipiell wie eine Nahlinse. Der wesentliche Unterschied ist die geringe Brennweite von etwa 25 mm (entspricht 40 dpt) und die damit verbundene Vergrößerung. Dieses Linsensystem kompensiert die wichtigsten linsentypischen Abbildungsfehler wie Farbfehler (chromatische Aberrationen) oder die Bildfeldwölbung und

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

gewährleistet sehr hohe Abbildungsqualitäten. Übliche Nahlinsen reichen höchstens bis zu einer Brennweite von 250 mm, bei Kombinationen mehrerer Nahlinsen oder den selteneren 10 dpt Linsen bis zu 100 mm.

Linsenqualität

Da hoch vergrößernde Linsensysteme häufig starke optische Fehler aufweisen wie beispielsweise chromatische Aberrationen in Form von

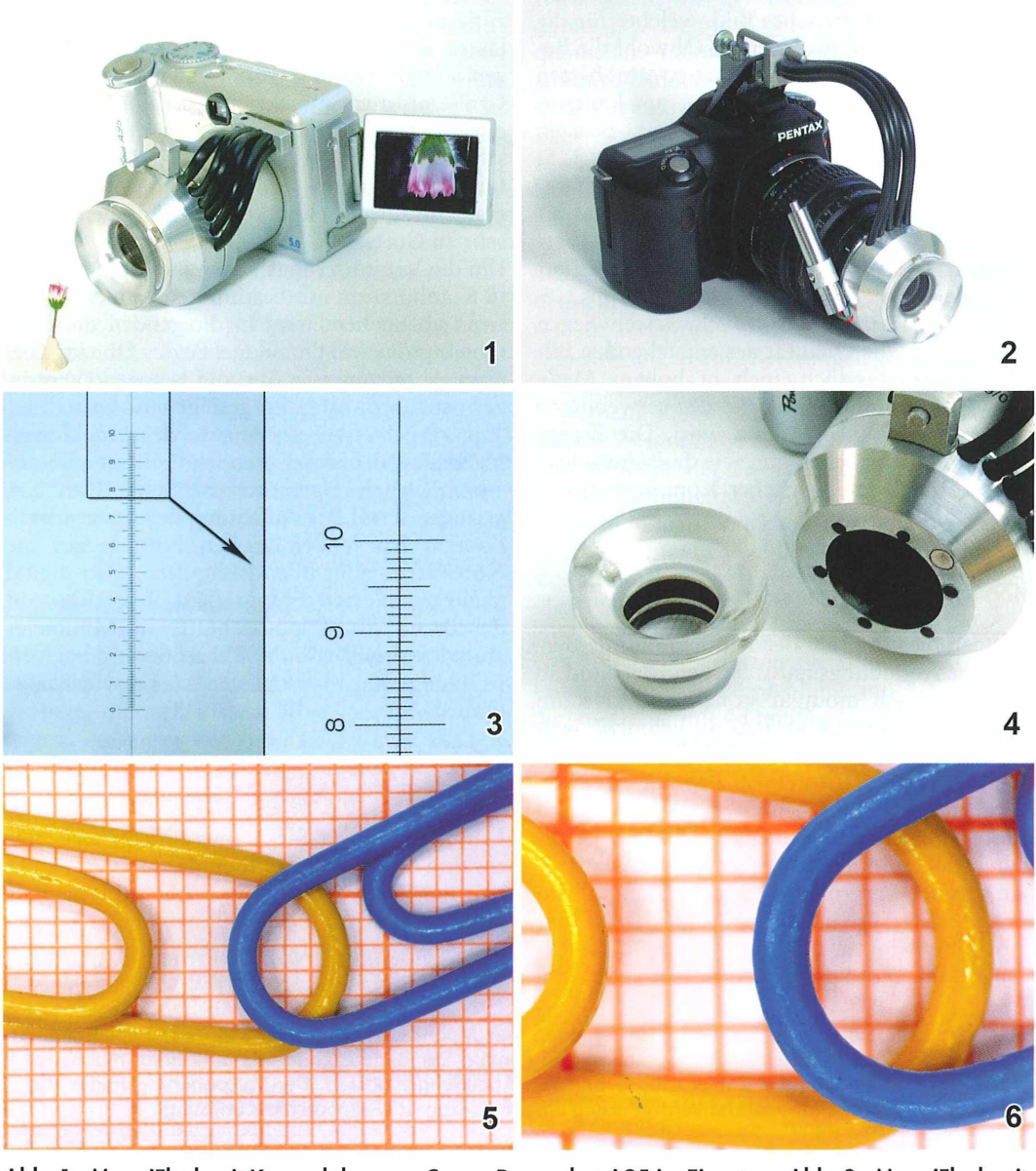


Abb. 1: MagniFlash mit Kompaktkamera Canon Powershot A95 im Einsatz. – Abb. 2: MagniFlash mit Systemkamera Pentax ist DL und dem dazugehörigen Standardobjektiv DA 3,5–5,6/18–55 mm. – Abb. 3: Testaufnahme mit Canon Powershot A95 von hoher Qualität: Selbst in der Ausschnittvergrößerung keine Spur von chromatischen Aberrationen. – Abb. 4: Die Linsensysteme von MagniFlash werden durch Magnete sicher gehalten und sind einfach und schnell austauschbar. – Abb. 5 und 6: Beispielaufnahmen mit dem 20 dpt Linsensystem von MagniFlash, Pentax ist DL (DA 3,5–5,6/18–55 mm).

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

Farbsäumen an Konturen oder starke Bildfeldwölbungen, kommt bei MagniFlash ein Linsensystem aus vier Linsen zum Einsatz. Diese sind zu zwei hochwertigen Achromaten arrangiert und kompensieren die wichtigsten linsentypischen Abbildungsfehler. Es resultiert ein exzellent korrigiertes optisches Bild, welches für die Fotografie bestens geeignet ist. Obwohl die Beurteilung von Linseneigenschaften am besten mit dem bloßen Auge geschieht, um kameraspezifische Einflüsse auszuschließen, belegen die Testfotos das hochwertige Bild (Abb. 3, 5, 6). Bei ausreichender Brennweite des Kameraobjektivs ist das Bild vignettierungsfrei und bis in die Ecken nahezu plan. Chromatische Aberrationen werden auf ein Minimum reduziert und fallen bei der Fotografie nicht mehr ins Gewicht. An dieser Stelle soll nicht verschwiegen werden, dass die Qualität des entstehenden Bildes selbstverständlich auch in hohem Maße von Qualität und Brennweite des verwendeten Kameraobjektivs beeinflusst wird. Die Ergebnisse sind höchstens so gut, wie das schwächste Glied in der Kette optischer Komponenten es zulässt.

Mögliche Vergrößerungen

Nicht immer sind bei der Naturfotografie derart hohe Abbildungsmaßstäbe gefordert und so ist MagniFlash modular konzipiert. Er kann verschiedene Linseneinsätze aufnehmen, welche aus einem Linsensystem der gewünschten Brennweite gefasst in einem PMMA-Streuring bestehen. Die Linseneinsätze werden durch starke Magnete sicher in einer Steckfassung gehalten und sind auf einfache Weise austauschbar, was den Vergrößerungswechsel im mobilen Einsatz sehr vereinfacht (Abb. 4). Der Standard-Linseneinsatz mit 40 dpt ist für die extreme Makrofotografie vorgesehen. Mit ihm umfasst der Bildausschnitt, abhängig von dem genutzten Kameraobjektiv, 7–12 mm. Ein Linseneinsatz mit circa 50 mm Brennweite (entspricht 20 dpt) für geringere Abbildungsmaßstäbe führt zu einem Bildausschnitt von 13–25 mm. Zusammen mit der möglichen Nutzung des linsenlosen MagniFlash als Ringblitz lassen sich mit den verschiedenen Linseneinsätzen sowohl Objekte von wenigen Millimetern Größe als auch Objekte im Zentimeterbereich unter Benutzung des kameraintegrierten Blitzes scharf abbilden (Abb. 5 und 6). Dem Naturfotografen kommt die Flexibilität durch die einfache Austauschbarkeit von Linseneinsätzen sehr zu Gute.

Um die Vergrößerungsleistung von MagniFlash in Kombination mit bestimmten Kameraobjektiven anzugeben, wird im Folgenden die reale Objektgröße auf die Bildgröße des Objektes bei einer Auflösung von 300 dpi bezogen (Vergrößerungsfaktor V). Dies geschieht aufgrund der Tatsache, dass bei der Angabe des Abbildungsmaßstabes den differierenden Auflösungen der verschiedenen Kamerachips nicht Rechnung getragen wird. Die Auflösung der verwendeten Kamera hat jedoch großen Einfluss auf die Nutzbarkeit von Bildausschnitten, also digital nachvergrößerten Fotografien. Weiterhin gibt die Breite des Bildausschnitts in Millimeter einen Eindruck von der Vergrößerung bei Verwendung der verschiedenen Linseneinsätze (Tab. 1).

Schärfentiefe

Durch den Einsatz des kameraintegrierten Blitzes und die hohe Belichtung des Objektes kann bei der Verwendung von MagniFlash eine große Blendenzahl gewählt werden. Dies gewährleistet eine vergleichsweise hohe Schärfentiefe, was gerade bei dokumentarischen Makro-

Tabelle 1: Exemplarische Vergrößerungsmessungen von MagniFlash in Kombination mit zwei Kompaktkameras von Canon und einer Systemkamera von Pentax. Der Bildausschnitt als auflösungsunabhängige Größe ergibt in Relation zur Kamerachip-Größe den Abbildungsmaßstab. Der Vergrößerungsfaktor V_{300dpi} gibt Auskunft über die tatsächliche Vergrößerung unter Einbezug der Kamerachip-Auflösung

Kameramodell	40 dpt Linsensystem		20 dpt Linsensystem	
	Bildausschnitt	V_{300dpi}	Bildausschnitt	V_{300dpi}
Canon PowerShot A95	9 mm	25x	16 mm	14x
Canon PowerShot A570 IS	7–12 mm	37–22x	13–25 mm	20–10x
Pentax ist DL + DA 3,5–5,6/18–55 mm	12 mm	21x	22 mm	11x

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

aufnahmen von sehr großem Wert ist. Die empirische Quantifizierung der Schärfentiefe beziehungsweise die Festlegung eines Schärfebereichs fällt auch mit standardisierten Testfotografien schwer, da der Übergang von der absoluten Schärfe (sofern es diese überhaupt gibt) zur Unschärfe fließend ist. Zudem verändert sich mit der Blendenzahl auch die Abbildung unscharfer Strukturen maßgeblich, ohne dass diese ganz scharf abgebildet werden. So werden an dieser Stelle Testfotografien bei verschiedenen Blendenzahlen präsentiert (Abb. 7). Möge sich der Leser selbst ein Bild machen.

Geeignete Kameratypen und Objektive

Ursprünglich wurde MagniFlash für die Anwendung an digitalen Kompaktkameras entwickelt, was den Nutzern dieser Modelle eine ganz neue Ebene der Fotografie eröffnet. In einer Weiterentwicklung wurde er auch für Systemkameras verfügbar gemacht. Mittlerweile existieren einige Erfahrungswerte mit diversen Kameramodellen der namhaften Hersteller.

Digitale Kompaktkameras

Die Kombination von MagniFlash mit handelsüblichen Kompaktkameras besticht durch einige Vorteile, die sich insbesondere im Feldeinsatz zeigen. Beispielsweise bei Exkursionen, Reisen und Tagestouren kommen eine geringe Masse und eine verhältnismäßig geringe Größe dem Anwender sehr zu Gute. Ganz besonders dann, wenn zudem anderen Tätigkeiten nachgegangen werden soll (z.B. Proben nehmen, sammeln, kartieren). Trotz seiner Leistung auf makrofotografischer Ebene stellt MagniFlash in Kombination mit einer Kompaktkamera keine Behinderung für den Anwender dar, wie es oft bei den schwereren Kamerasystemen der Fall ist. Zur Befestigung an der Kompaktkamera wird üblicherweise eine Bajonettfassung oder ein Gewinde benutzt, welches bei vielen, aber nicht allen Modellen am Objektiv vorhanden ist. Ein handelsüblicher Filterhalter mit 52 mm Gewinde dient hier als Adapter. Nach der einfachen Montage muss lediglich in den Blitzmodus geschaltet werden und auf Wunsch kann eine zuvor programmierte Funktionseinstellung mit hoher Blendenzahl gewählt werden (Manueller Modus). Es hat sich auch bewährt, die Zeitautomatik (Av) in Kombination mit dem Blitz zu nutzen. Kompakte Digitalkameras besitzen einen Autofokus, den Makroobjektive oft nicht bieten. Somit kann die Kamera selbsttätig auf das in das Bildfeld gebrachte Objekt fokussieren, was in vielen Fällen scharfe Fotos garantiert. Dennoch kann man ebenso zum manuellen Fokus wechseln, sollen ganz bestimmte Bilddetails in den Fokus gebracht werden. Digitale Kompaktkameras bieten gegenüber vielen aktuellen Spiegelreflexkamera-Modellen (SLR) einige Vorteile zur Fotografie belebter und unbelebter Objekte an schwer zugänglichen Stellen. So ist es nicht notwendig, durch den Sucher der Kamera zu schauen. Der aus der Distanz beobachtbare Monitor, auf dem ein TTL-Livebild abgebildet wird, erleichtert die Orientierung bei der Fotografie kleiner Objekte ungemein. Bei einigen aktuellen Modellen ist dieser sogar schwenkbar (Abb. 1).
Ich arbeite schon lange mit der Canon PowerShot A 95 und habe inzwischen auch einige andere Modelle der PowerShot-Gruppe von Canon in Kombination mit MagniFlash getestet. Obwohl manche der kleinen Modelle nicht die Wahl der maximalen Blendenzahl 8 oder die Zeitautomatik (Av) ermöglichen, eignen sich die PowerShot-Produkte grundsätzlich sehr gut. Die erforderliche maximale Brennweite von 100 mm überbieten alle aktuellen Modelle. Eine besondere Empfehlung möchte ich für die ausgiebig mit MagniFlash erprobte Canon PowerShot A95 und auch die noch erhältliche Canon PowerShot A570 IS geben.

Systemkameras

In einer Weiterentwicklung wurde MagniFlash auch für Systemkameras verfügbar gemacht (Abb. 2). Es ist einerseits möglich, in Kombination mit „Normalobjektiven" einer gewissen Mindestbrennweite in den Makrobereich zu gelangen. Anderseits kann MagniFlash auch mit einigen Makroobjektiven kombiniert werden. Möchte man ohne Vignettierung fotografieren, ist eine Objektiv-Brennweite von mindestens 50 mm erforderlich. Treten bei Objektiven geringerer Brennweite Eckenvignettierungen auf, so kann man diese gegebenenfalls durch digitale Bildbearbeitung entfernen. Als sehr gut hat sich der Einsatz von MagniFlash an Normalobjektiven, leichten Teleobjektiven und auch manchen Makroobjektiven erwiesen. In allen

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

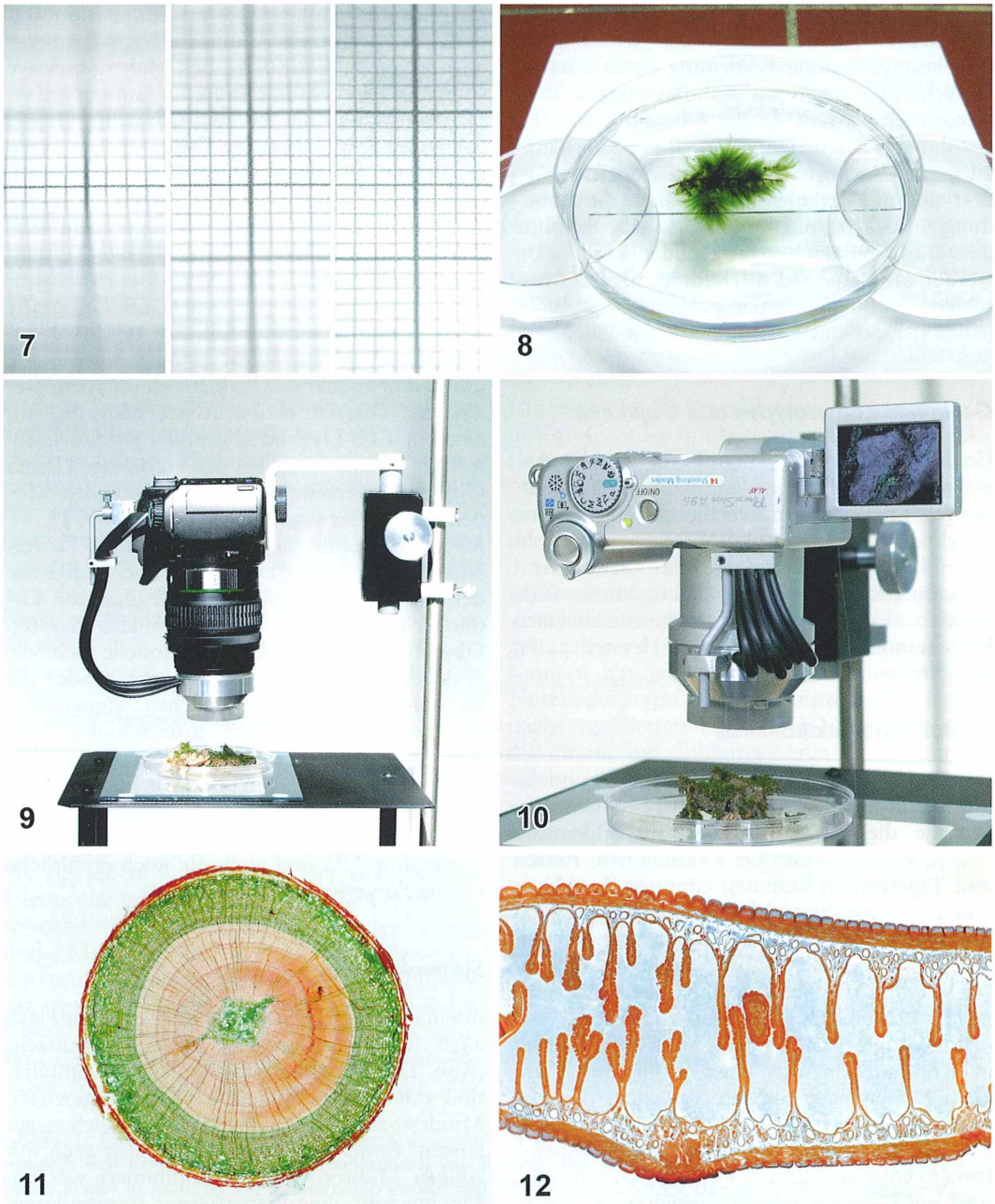


Abb. 7: Testaufnahmen einer Fläche mit 45°-Neigung zur optischen Achse mit MagniFlash bei verschiedenen Blendenzahlen machen den Einfluss dieser auf die Schärfentiefe deutlich: F5,6 (links); F16 (Mitte); F38 (rechts). – Abb. 8: Aufbau zur Fotografie aquatischer Objekte. Hier mit Objektträger-Technik zur leichten Kompression des Objektes. – Abb. 9 und 10: MagniFlash im stationären Einsatz mit Pentax ist DL (Abb. 9) und Canon Powershot A95 (Abb. 10). – Abb. 11: Sprossquerschnitt des Urweltmammutbaumes (*Metasequoia glyptostroboides*) aufgenommen mit MagniFlash, Canon Powershot A95. – Abb. 12: Längsschnitt des Regenwurms (*Lumbricus terrestris*) aufgenommen mit MagniFlash, Canon Powershot A95.

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

Fällen aber genießt der Fotograf mit einer Spiegelreflexkamera eine größere Flexibilität bei der Blendenwahl gegenüber den digitalen Kompaktkameras, was sehr fein zur Regulierung der Schärfentiefe genutzt werden kann (Abb. 7). Weiterhin eröffnet die Nutzung des RAW-Formates (Rohdatenformat) bei der digitalen Bildbearbeitung neue Möglichkeiten.
Im Bereich der Systemkameras ist die Pentax ist DL mit dem Normalobjektiv Pentax DA 3,5–5,6/18–55 mm in Kombination mit MagniFlash langfristig erprobt worden. Weiterhin bringt MagniFlash auch mit Objektiven von Canon und Olympus sehr gute Ergebnisse.

Anwendungsgebiete und Ergebnisse

Alles in Allem ist MagniFlash in der Verbindung mit digitalen Kompaktkameras oder Systemobjektiven eine einfache und praktische Lösung zur Realisierung anspruchsvoller, mobiler Makrofotografie. Darüber hinaus kann er jedoch auch stationär Anwendung finden. Montiert man die Kamera an ein geeignetes Stativ mit Feintrieb, so können Sammlungsobjekte, Proben oder auch mikroskopische Präparate mit Leichtigkeit digitalisiert werden (Abb. 9 und 10). Unter diesen Umständen kann man den Blitz ebenso ausschalten und alternativ belichten, was dann natürlich längere Belichtungszeiten erfordert, für manche Objekte aber vorteilhaft ist.
Mögliche Einsatzgebiete sind beispielsweise in der Botanik und Zoologie zu finden. MagniFlash ist in der Dokumentation von Moosen, Flechten, terrestrischen Algen, Kleintieren von wenigen Millimetern Größe, Gewässerorganismen sowie anatomischen Details großer Organismen aller Art erprobt (Abb. 13–22). Außerdem lassen sich mit MagniFlash Gesteine, Fossilien und Mineralien fotografieren und auch dokumentarische Fotografien von Beschädigungen, Wunden und Läsionen vieler Art sind möglich. Denkbar ist beispielsweise ein Einsatz in der Dermatologie und Werkstoffprüfung. Attraktiv ist MagniFlash auch für Sammler von Briefmarken und Münzen. Ein Einsatzgebiet, welches für Mikroskopiker und Sammler von Dauerpräparaten von Interesse sein kann, ist die Präparate-Fotografie. Sowohl Frischpräparate von größeren Objekten als auch histologische oder botanische Dauerpräparate lassen sich in ihrer Gänze dokumentieren, was mit dem Mikroskop (abgesehen vom so genannten Stitching) nicht möglich ist. Die mikroskopischen Präparate werden einfach auf einem weißen Hintergrund positioniert, gegebenenfalls etwas erhöht, und senkrecht mit MagniFlash abfotografiert. Obwohl dies natürlich nicht die Auflösung eines mikroskopischen Bildes bietet, erreicht man einen größeren Überblick über das Präparat, so zum Beispiel bei Sprossachsenquerschnitten höherer Pflanzen oder Längsschnitten des Regenwurms (Abb. 11 und 12).
Der Aufbau zur Fotografie von Wasserorganismen besteht aus einer Petrischale, die einige Millimeter mit Fundortwasser, Nährmedium oder Ähnlichem gefüllt ist. Diese ist durch ein Stativ oder provisorisch durch zwei gleich hohe Unterlagen (z.B. Petrischalen, Bücher) über eine Hintergrundfläche beliebiger Färbung erhöht, sodass diese im Unschärfebereich liegt und einen homogenen Hintergrund erzeugt. Im Falle von aquatischen Makroinvertebraten (Abb. 19) setzt man die Tiere in das so entstandene Fotobecken und fotografiert von oben senkrecht durch den planen Wasserfilm. Zur Vermeidung von Reflexionen ist ein ungestörter Wasserfilm essentiell. Er darf keinesfalls durch das Objekt verzerrt werden und sollte somit etwas höher sein als dieses. Tiere möchte man meist in ihrer lebendigen Haltung dokumentieren und man wird im Regelfall keine manipulierenden Techniken anwenden. Trotz der vergleichsweise hohen erreichbaren Schärfentiefe mit MagniFlash, umfasst diese im Makrobereich nur wenige Millimeter. Es hat sich somit bei pflanzlichen Wasserorganismen (Meeresalgen, Armleuchteralgen) als sehr vorteilhaft erwiesen, diese Objekte mit einem Glasobjektträger zu komprimieren. Dabei wird das Objekt in den vorbereiteten Wasserfilm überführt, worauf es sich zumeist in alle Richtungen ausdehnt und zugleich durch geringste Erschütterungen in Schwingung gerät. Der Objektträger wird schräg in den Wasserfilm eingeführt, vorsichtig auf das Objekt gelegt und mit Hilfe eines Fingers mit Wasser benetzt, sodass der Wasserfilm über dem Objektträger geschlossen ist. Diese Anordnung drückt das Objekt einerseits etwas zusammen, sodass möglichst viele Strukturen von der Schärfeebene erfasst werden können, andererseits wird das Objekt gut fixiert (Abb. 8). Aufgrund der geringen Brechzahlunterschiede von Wasser und Glas ist der Objektträger für das menschliche Auge nahezu unsichtbar und beeinflusst die

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

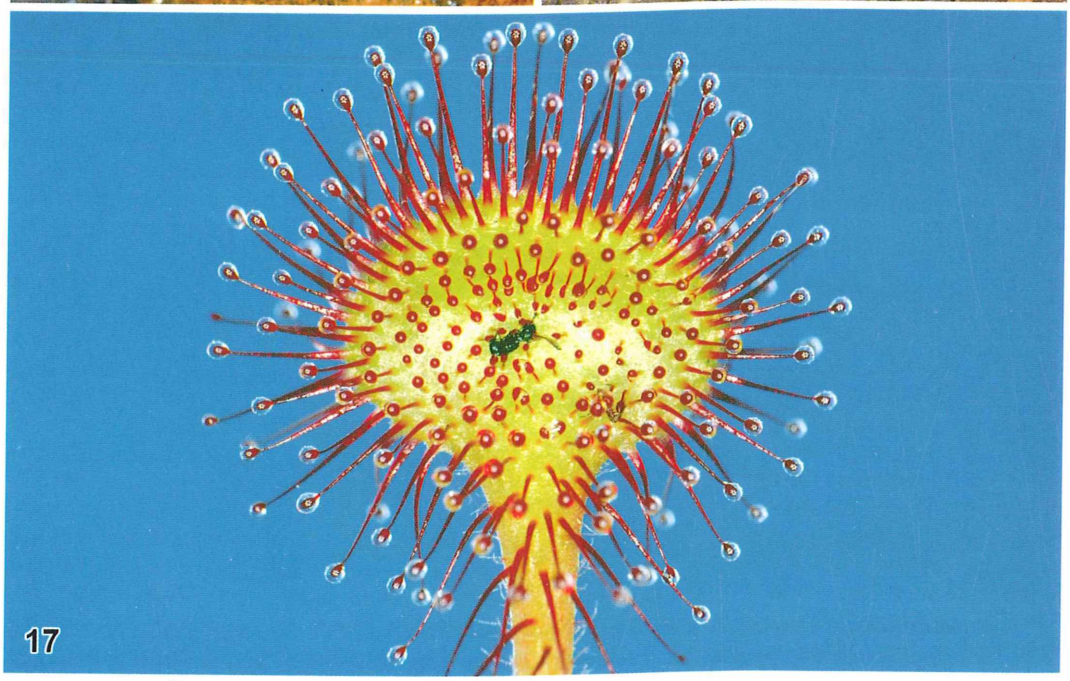


Abb. 13: Emporgehobener Sporophyt des Torfmooses (*Sphagnum*), Canon Powershot A95. – Abb. 14: Antheridienstand des Frauenhaarmooses (*Polytrichum juniperinum*), Canon Powershot A95. – Abb. 15: Aeroterrestrische Grünalge (*Trentepohlia*), Canon Powershot A95. – Abb. 16: Apothecien des Schildborstlings (*Scutellinia*) auf Totholz, Pentax ist DL. – Abb. 17: Fangblatt des rundblättrigen Sonnentaus (*Drosera rotundifolia*), Pentax ist DL.

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

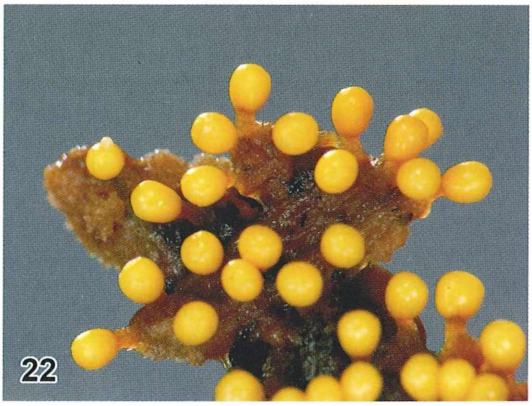


Abb. 18: Gottesanbeterin beim Fühlerputz, Pentax ist DL. – Abb. 19: Eintagsfliegenlarve (*Ecdyonurus venosus*), Pentax ist DL. – Abb. 20: Die Achänen des Löwenzahns (*Taraxacum*) lösen sich im Wind, Pentax ist DL. – Abb. 21: Podetien der Becherflechte (*Cladonia*), Canon Powershot A95. – Abb. 22: Sporocarpien eines unbestimmten Schleimpilzes, Pentax ist DL.

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

Aufnahme in keiner Weise. Ich benutze diese einfache Technik sehr gerne auf Exkursionen zur Dokumentation von Meeresalgen. Man muss nichts weiter als Kamera, MagniFlash, Petrischale und einen Objektträger mitführen. Zwei gleich hohe Unterlagen und ein weißer Hintergrund lassen sich meist vor Ort auftreiben. Diese Techniken ermöglichen über die mobile Anwendung von MagniFlash hinaus das kreative Gestalten gestellter Makrofotografien und die Dokumentation von Gewässerorganismen.

Fazit

MagniFlash ist durch seinen Einsatz als mobiles Dokumentationsgerät sowohl für Wissenschaftler als auch für engagierte Hobbyisten von großem Interesse. Gegenüber den stationären Methoden, die hoch vergrößernde Makroaufnahmen ermöglichen, muss im Falle von MagniFlash das Objekt nicht zwangsweise gesammelt und transportiert werden. Dies spielt genau dann eine Rolle, wenn die Objekte fragil, vergänglich oder auch geschützt sind. Die Konstruktion gewährleistet eine einfache Handhabung und ermöglicht auch Einsteigern schnelle und gute Ergebnisse im Bereich der Makrofotografie. Mit der Zeit wird jeder Nutzer die Vielzahl der Möglichkeiten zur Bildgestaltung erfahren, und mit etwas Geschick zu Ergebnissen hoher Ästhetik gelangen können. So muss der Anspruch nicht zwangsweise dokumentarischer oder wissenschaftlicher Natur sein. Grundlage dafür ist die hohe optische Qualität der Komponenten, bei der kein Kompromiss eingegangen werden sollte.
Seit Mai 2007 ist das MagniFlash-System durch das Deutsche Patent- und Markenamt geschützt und aufgrund der hohen Resonanz wurde eine erste Kleinserie gefertigt. Auf meiner Homepage www.sebastianhess.de.vu erhalten Sie weitere Informationen und über diese kann MagniFlash auch käuflich erworben werden.

Literaturhinweise

Bettighofer, W.: Das Stereomikroskop als vollwertiges Beobachtungsinstrument für Mikro-Objekte. Mikrokosmos 96, 188–189 (2007).
Dethloff, H. J.: Zwischen Mikro und Makro – Anregungen für die Lupenfotografie. Mikrokosmos 83, 257–259 (1994).
Feinberg, P.: Ein Spezialgebiet für Könner: Die Makrofotografie. I. Optik-Kamera-Durchlichtbeleuchtung. Mikrokosmos 56, 257–264 (1967).
Feinberg, P.: Ein Spezialgebiet für Könner: Die Makrofotografie. II. Die Wirkung der Blenden. Auflichtbeleuchtung. Mikrokosmos 56, 289–294 (1967).
Gabler, D.: Die Nah- und Makrofotografie mit dem Minolta-System. Das Prinzip, die Mittel, die Anwendungstechnik. Minolta, Hamburg 1972.
Gebert, A.: Durchlicht-Makrofotografie. Die Anwendung des Köhlerschen Prinzips auf die einstufige Abbildung. Mikrokosmos 72, 337–340 (1983).
Hess, S.: Carnivoren kommen groß raus – Pflanzenfotografie mit MagniFlash. Das Taublatt 62, 5–23 (2008).
Huber, P.: Noch einmal (19): Die Makrofotografie. Bemerkungen zum Aufsatz von P. L. Feinberg im Mikrokosmos 56, 257–264, 1967. Mikrokosmos 57, 192 (1968).
Neubert, W.: Durchlicht-Makrofotografie. Mikrokosmos 77, 185–190 (1988).
Sauer, F.: Die konische Küvette – ein Hilfsmittel für die Makrofotografie. Mikrokosmos 59, 30–31 (1970).
Sauer, F.: Optische Färbung in der Makrofotografie. Mikrokosmos 61, 224 (1972).
Schneider, H.: Mikroskopobjektive als Optik für Makroaufnahmen. Mikrokosmos 55, 48–55 (1966).

Verfasser: Sebastian Hess, Hauptstraße 101, 51674 Wiehl, Internet: www.sebastianhess.de.vu, E-Mail: Fuer_Sebastian@web.de

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

Faszination Kristallchemie – Mikroskopische Einblicke in die chemische Steuerung des Kristallwachstums

Robert Sturm

Der Begriff Kristallisation bezeichnet aus thermodynamischer Sicht den Übergang eines flüssigen oder gasförmigen Stoffes in den festen Zustand. Besonderes Interesse erweckt die Kristallbildung auch aufgrund der Tatsache, dass Mineralphasen ihre Form im Verlauf des Wachstums deutlich verändern können. Hauptverantwortlich für derartige morphologische Modifikationen sind chemische Veränderungen im umgebenden Milieu. Besonders gut dokumentiert ist diese chemische Steuerung des Kristallwachstums für magmatische Minerale, wobei im vorliegenden Artikel unsere Erkenntnisse über akzessorischen Zirkon im Detail erläutert werden sollen.

Die Faszination des Kristallwachstums zog bereits im 19. Jahrhundert Chemiker und Mineralogen gleichermaßen in ihren Bann, wobei erste intensivere Betrachtungen zu den thermodynamischen Grundlagen dieses Phänomens auf J. W. Gibbs zurückgehen (Longley, 1957). Welche Voraussetzungen müssen nun aber für die Kristallbildung gegeben sein? Grundsätzlich könnte man die Kristallisation ganz simpel als jenen Vorgang bezeichnen, bei dem durch kontinuierliches Wachstum aus einem Keim ein fertiger Kristall entsteht. Aus thermodynamischer Sicht setzt die Kristallisation unter der Voraussetzung ein, dass die Kristallphase bei den vorherrschenden Druck- und Temperaturbedingungen stabil ist und damit ihre freie Enthalpie ΔG einem Minimum zustrebt (Kleber, 1990). In einem Phasendiagramm – man führe sich beispielsweise jenes von Wasser vor Augen – kommt die Kristallisation einem Überschreiten der Gleichgewichtskurven vom flüssigen beziehungsweise gasförmigen hin zum festen Aggregatzustand gleich, entlang welcher zwei angrenzende Phasen ein Equilibrium bilden. Der Grad dieser Überschreitung stellt einen signifikanten Parameter für den kinetischen Ablauf der Kristallbildung dar. In Bezug auf Dampf (gasförmiger Zustand) oder eine Lösung wird die Überschreitung als Übersättigung bezeichnet. Bei Schmelzen hingegen verwendet man in diesem Zusammenhang den Terminus Unterkühlung (Kleber, 1990).

Einblick in die Kinetik des Kristallwachstums

Wie nun verläuft das Wachstum eines Kristalls aus physikalisch-chemischer Sicht? Wenn man zur Beantwortung der Frage einen polyedrischen Kristall mit ebenen Flächen heranzieht, so kann Wachstum mit einer parallelen Verschiebung der einzelnen Flächen nach außen definiert werden. Zur Beschreibung der Lage spezifischer Kristallflächen in einem Koordinatensystem hat sich in der Kristallographie das System der Miller'schen Indices eingebürgert (Abb. 1b). Zur Quantifizierung des Wachstums werden die Verschiebungsgeschwindigkeiten der Kristallflächen in Richtung ihrer Flächennormalen herangezogen und zueinander in Beziehung gestellt. Grundsätzlich können zwei Fälle des Wachstumsverlaufs unterschieden werden: Im ersten – und eher seltenen – Fall sind die Verschiebungsgeschwindigkeiten für alle Flächen des Kristalls konstant und gleich groß, was zur Folge hat, dass das Mineralkorn lediglich seine Größe, nicht jedoch seine Form verändert. Im zweiten Fall besteht zwar weiterhin die Annahme einer konstanten Wachstumsgeschwindigkeit für jede einzelne Fläche, jedoch differieren die Geschwindigkeiten zweier benachbarter Flächen. Das Resultat dieser – wenn man so will – Wachstumskonkurrenz ist eine kontinuierliche Verkleinerung jener Flächen mit größeren Verschiebungsgeschwindigkeiten beziehungsweise eine relative Ausdehnung der

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

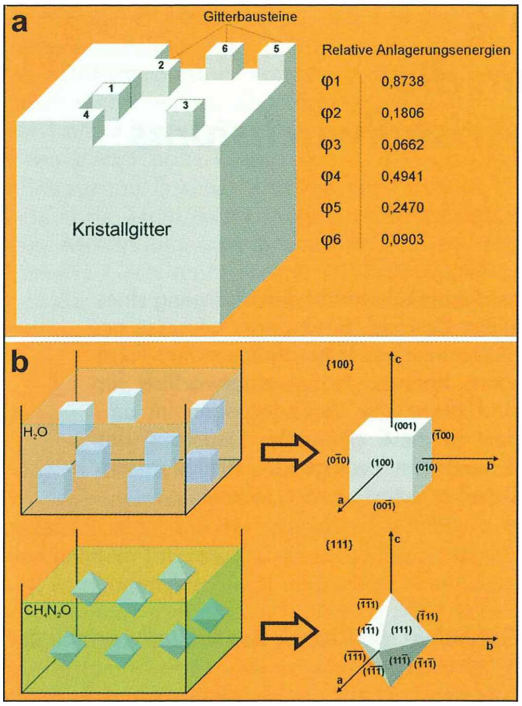


Abb. 1: a Anlagerung einzelner Gitterbausteine (Würfel) an eine Kristallfläche. Die Wahrscheinlichkeit der Anlagerung steigt mit der so genannten Anlagerungsenergie φ an. b Exomorphe Kristallisation von Steinsalz (NaCl) in wässriger Lösung und in mit Harnstoff (CH_4N_2O) versetzter Lösung.

Flächen mit geringeren Verschiebungsgeschwindigkeiten. Die endgültige Wachstumsform wird demzufolge von den Flächen mit den geringsten Verschiebungsgeschwindigkeiten begrenzt (Spangenberg, 1935). Im magmatischen Milieu kann das Kristallwachstum infolge eines stetigen Wechsels der Umgebungsbedingungen als sehr variabel charakterisiert werden, das heißt es besteht sowohl eine Inkonstanz bezüglich der Verschiebungsgeschwindigkeiten als auch eine Wachstumsdiskrepanz zwischen einzelnen Flächen. Dieser allgemeine Fall des Wachstumsverlaufs hat zur Folge, dass der Kristall im Verlauf seiner Entwicklung mehrmals seine Form ändern kann. Im Weiteren soll das Kristallwachstum zuerst am einfachen Beispiel des Steinsalzes NaCl und schließlich am Beispiel des akzessorischen Zirkons $ZrSiO_4$ etwas näher im Detail erläutert werden.

Beispiel Steinsalz (NaCl)

Steinsalz, welches in gelöster Form vorliegt, beginnt bei Überschreitung (d. h. bei Verdunstung des Lösungsmittels) auszukristallisieren. Dabei variiert je nach chemischer Zusammensetzung des Lösungsmittels die Wachstumsform (der Habitus) des Kristallisats (Abb. 1b und 2). In reiner wässriger Lösung kristallisiert Kochsalz in Würfeln, welche kristallographisch mit der Form {100} beschrieben werden können. Setzt man der Lösung dagegen Harnstoff CH_4N_2O zu, so beginnt das Steinsalz die oktaedrische Form {111} anzunehmen. Die infolge äußerer Einwirkung verursachte Formänderung wird im Allgemeinen als Exomorphose bezeichnet (Kleber, 1990).

Zur Vervollständigung des Bildes soll noch ein kurzer Blick auf die submikroskopischen Vorgänge beim Wachsen einzelner Kristall-

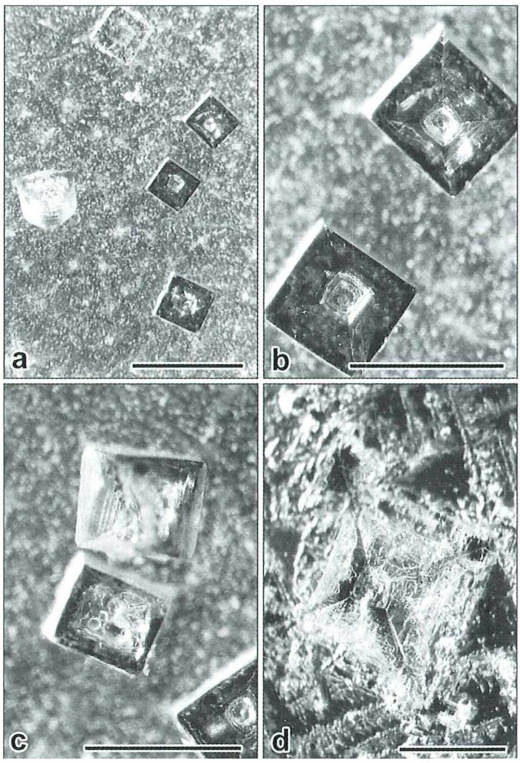


Abb. 2: Würfelförmige und oktaedrische NaCl-Kristalle unter dem Mikroskop. Besonders deutlich ist das Anlagerungsverhalten einzelner Gitterbausteine anhand der Detaildarstellungen bei den Würfelkristallen erkennbar. Balken: a: 1 mm, b, c: 0,5 mm, d: 0,1 mm.

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

flächen geworfen werden. Einleitend lässt sich zu dieser komplexen Problematik bemerken, dass die Vergrößerung eines Kristalls der Anlagerung einzelner Gitterbausteine entspricht. Den Modellvorstellungen von Kossel (1927) und Stranski (1928) zufolge variieren jedoch die dafür aufzuwendenden Anlagerungsenergien je nach Ort und Stelle, wo die Anbindung des Gitterbausteins erfolgt (Abb. 1a). In Bezug auf unser Steinsalz lässt sich diese Theorie relativ verständlich darstellen: Der in wässriger Lösung würfelförmig kristallisierte NaCl-Block entsteht durch Anlagerung einzelner Ionen – in Abbildung 1a sind diese als Würfel dargestellt –, welche zum einfacheren Verständnis in Art und Ladung keine Unterschiede aufweisen sollen. Betrachtet man nun eine im Aufbau begriffene Netzebene, so gibt es für jedes neu hinzukommende Ion mehrere Positionen der Adsorption, die sich teilweise beträchtlich in der frei werdenden Anlagerungsenergie unterscheiden (Abb. 1a). Je höher diese Energie ist, desto größer ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass ein Ion die dieser Energie zuordenbare Position in der Netzebene einnimmt. Dadurch lässt sich eine Aussage über den Wachstumsverlauf eines Ionenkristalls gewinnen: Demnach wird eine einmal begonnene Ionenkette zuerst komplettiert, bevor eine neue aufgebaut wird. Dasselbe gilt auch für eine Netzebene, das heißt die Wahrscheinlichkeit zur Vollendung einer einmal begonnenen Netzebene ist wesentlich höher als jene zum gleichzeitigen Beginn mehrerer Netzebenen. Dieser durchaus verständliche Ansatz erklärt das Auftreten ebener Kristallflächen (Abb. 2).

Das Wachstum von akzessorischem Zirkon

Akzessorischer Zirkon verfügt aufgrund seiner relativ einfach klassifizierbaren Wachstumsformen über hervorragende Eigenschaften als so genannter petrogenetischer Indikator (Sturm, 2005, 2006). Darunter versteht man eine Mineralphase in einem Gestein, deren kristallo-

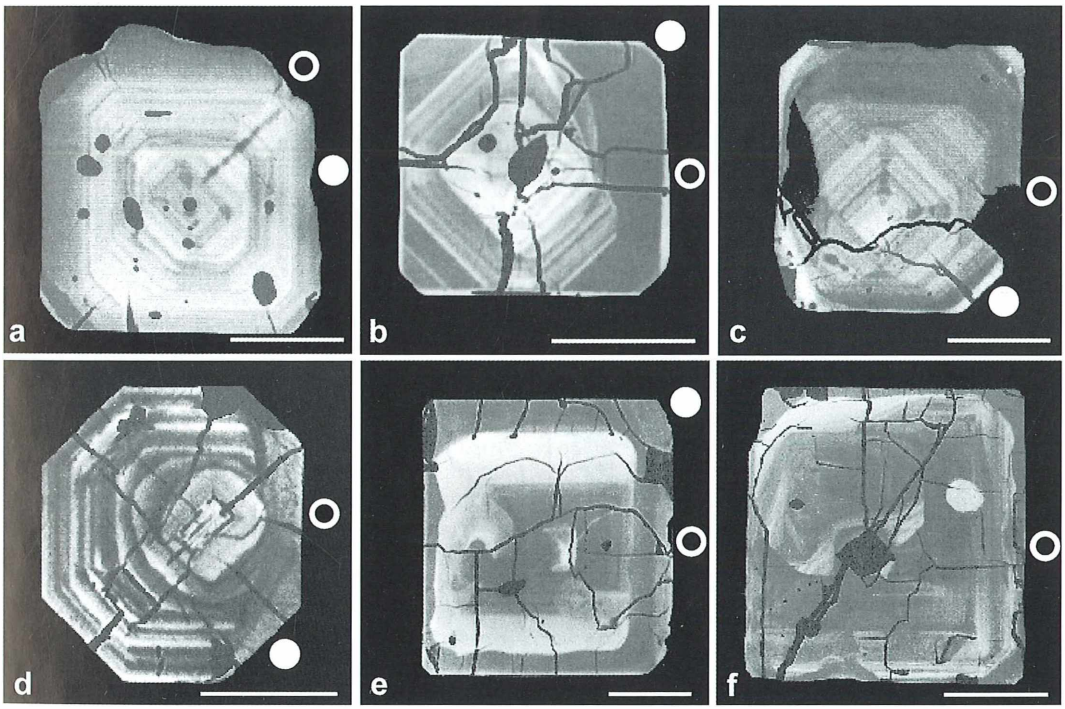


Abb. 3: Darstellung des Prismenwachstums von akzessorischem Zirkon anhand von Kristallquerschnitten. Die Kristalle zeigen eine mehr oder weniger regelmäßige Abfolge von Wachstumsinkrementen (Wachstumsstreifen), die sich auf den Bildern in Form hellerer und dunklerer Zonen äußern. Kristallflächen: ○ {100}, ● {110}, Kristalle d–e: statisches Wachstum, Kristall a: {100}→{110}, Kristalle b–c: {110}→{100}, Balken: 10 µm.

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

graphische Auswertung grundsätzliche Aussagen über den Gesteinschemismus und – in weiterer Folge – den Bildungsort des Gesteins (kontinentale Kruste, Inselbogen, mittelozeanischer Rücken, usw.) gestattet. Hier nun schließt sich der Kreis, kommen wir doch auf die Frage des Einflusses externer physikalisch-chemischer Faktoren auf das Kristallwachstum zurück. Bei Betrachtung von Zirkon müssen wir den Übergang von der einfachen wässrigen Lösung zum hochkomplexen magmatischen System vollziehen, in welchem ein bis heute noch nicht vollständig aufgeklärtes Sammelsurium an physikalischen und chemischen Faktoren auf das Wachstum einzelner Mineralkomponenten Einfluss nimmt. Ist das Magma für sich gesehen bereits ein noch wenig verstandenes System, so wird dieser Umstand noch dadurch erschwert, dass es sich um ein offenes System handelt, welches ständigen Mischungs- und Entmischungsprozessen unterliegt. Magmatische Minerale und insbesondere Zirkon reagieren auf die zumeist permanente Änderung der Umgebungsvariablen, sowohl was die Verschiebungsgeschwindigkeiten einzelner Flächen als auch die Wachstumskonkurrenz der Flächen zueinander betrifft, mit einer zum Teil hohen morphologischen Variabilität (Abb. 3 und 4).

Chemische Steuerung des Zirkonwachstums

Bereits in den 1970ern konnte man durch umfassende statistische Untersuchungen der in einzelnen Zirkonpopulationen vorherrschenden Kristallformen Klarheit darüber gewinnen, dass sowohl das Prismen- als auch das Pyramidenwachstum ähnlich wie beim oben erläuterten Steinsalz durch chemische Faktoren gesteuert wird. Detaillierte Untersuchungen zu dieser Thematik erfolgten schließlich in den 1990ern unter Verwendung modernster chemischer Analysetechniken (Vavra, 1990; Sturm, 1999). Zur Dokumentation einer eventuellen Beeinflussung des Prismenwachstums durch chemische Faktoren war es notwendig, Zirkonkris-

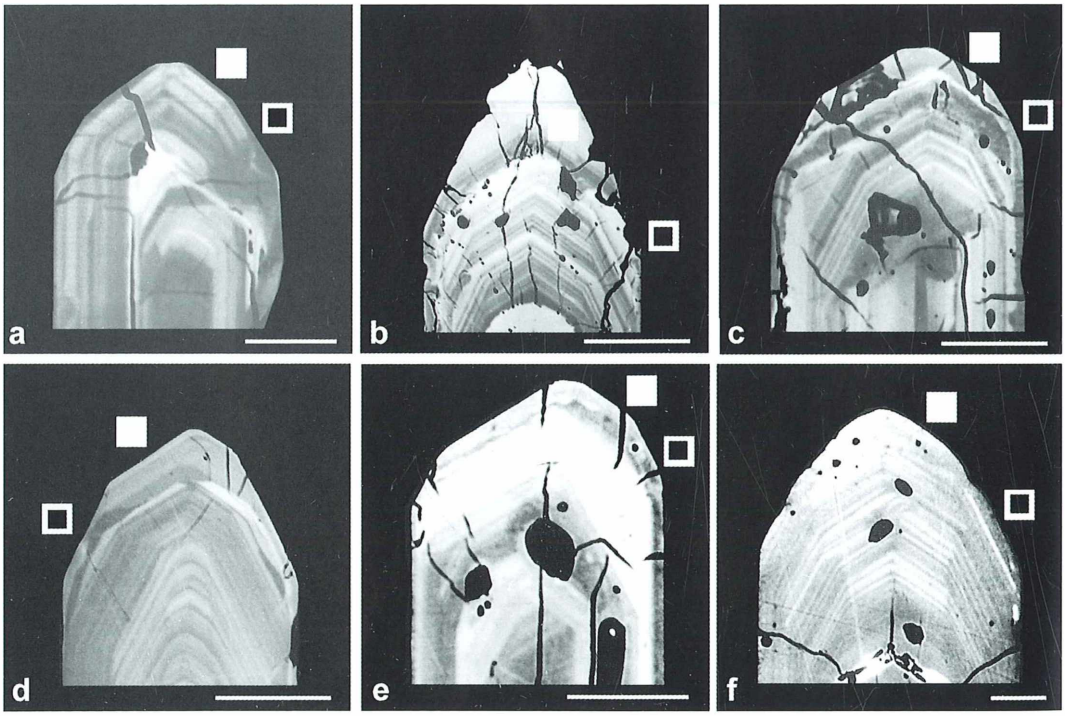


Abb. 4: Darstellung des Pyramidenwachstums von akzessorischem Zirkon anhand von Kristalllängsschnitten. Wie beim Prismenwachstum sind auch hier entsprechende Wachstumszonen erkennbar, die eine Klassifikation und Quantifizierung des Wachstums gestatten. Kristallflächen: □ {211}, ■ {101}, Kristalle a und f: statisches Wachstum, Kristall b: {101}→{211}, Kristalle c–e: {211}→{101}, Balken: 20 µm.

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

talle quer zu ihrer c-Achse zu schneiden (Abb. 3), wohingegen das Wachstum der Pyramiden anhand entsprechender Längsschnitte analytisch erfassbar wurde (Abb. 4).

Wenn wir uns zuerst etwas näher mit dem Prismenwachstum beschäftigen wollen, so erfolgt die Steuerung desselben durch klassische Blockadeeffekte, wie wir sie bereits am Beispiel des Kochsalzes kennen gelernt haben. Grundsätzlich können drei Wachstumsverläufe unterschieden werden (Abb. 3 und 5a). Im ersten Fall ändert sich die ursprünglich angelegte Prismenform mit fortschreitender Kristallisation nicht oder nur geringfügig (statisches Wachstum; Kristalle d–f in Abb. 3). Im zweiten Fall wird die ursprünglich angelegte Form {100} sukzessive durch die Form {110} verdrängt (Kristall a) und im dritten Fall erfolgt dieser Verdrängungsvorgang in umgekehrter Richtung, das heißt {110} wird durch {100} substituiert (Kristalle b und c).

Wie stehen diese Wachstumsszenarien mit den chemischen Kontrollfaktoren in Verbindung? Bezüglich des statischen Wachstums lässt sich diese Frage am einfachsten beantworten, da in diesem Fall nur ein insignifikanter Einbau wachstumsblockierender Elemente erfolgt und demzufolge die Formänderung unterbleibt. Interessanter wird die Sache jedoch bei den verbleibenden beiden Fällen, da hier die Wirkung des Blockadeeffektes deutlich zum Tragen kommt. Der Übergang von {100} nach {110} wird dadurch bewirkt, dass an den Flächen eine vermehrte Adsorption von Fremdelementen (im konkreten Fall U, Th, Seltene Erden + P) stattfindet. Diese wirkt auf das weitere Wachstum von {110} hemmend – die entsprechende Verschiebungsgeschwindigkeit tendiert gegen Null –, vermag das Wachstum von {100} jedoch nicht weiter zu beeinträchtigen. Zirkonkristalle mit derartigem Prismenwachstum zeigen zumeist einen dunklen fremdelementarmen Kernbereich, der von hellen, fremdelementreichen Wachstumszonen umsäumt wird.

Der chemische Einfluss im dritten, oben geschilderten Fall wird rein intuitiv bereits klar geworden sein, soll jedoch zur Abrundung noch erläutert werden. Im Falle des Übergangs von {110} zu {100} erfolgt der Fremdelementeinbau (U, Th, Seltene Erden + P) bereits zu Beginn der Kristallisation, was zur anfänglichen Ausbildung der Form {110} führt. Durch eine Abnahme der Konzentration an blockierenden Elementen wird der Blockadeeffekt jedoch beseitigt und die Verschiebungsgeschwindigkeit von {110} steigt entsprechend an. Dies nun hat zur Folge, dass sich die Gleichgewichtsform {100} ausbildet und mit weiterem Wachstumsverlauf stetig an Größe zunimmt. Kristalle mit dem beschriebenen Prismenwachstum zeigen im elektronenmikroskopischen Bild einen zumeist hellen Kernbereich, der von dunkleren Wachstumszonen umschlossen wird.

Pyramidenwachstum von akzessorischem Zirkon

Kann die Steuerung des Prismenwachstums auf eine beschränkte Anzahl von Kontrollfaktoren zurückgeführt werden, so verhält es sich mit dem Pyramidenwachstum von akzessorischem Zirkon nach dem gegenwärtigen Stand der Dinge wesentlich komplizierter (Vavra, 1994; Sturm, 2004). Klar scheint hier bislang nur zu sein, dass etwaige Blockadeeffekte nicht in erster Linie durch die Adsorption von Spurenelementen, sondern auch durch die Anlagerung von gewissen Hauptelementen wie Na, Al und P erzeugt werden. Wollen wir uns zur Wahrung der Kontinuität jedoch einzelne Wachstumsszenarien etwas näher betrachten. Wie beim Prismenwachstum können auch für die pyramidale Entwicklung drei grundsätzliche Fälle unterschieden werden (Abb. 4 und 5b). Im ersten Fall wird eine zu Beginn des Kristallisationsprozesses angelegte Pyramidenform nicht verdrängt, sondern zeigt mehr oder weniger konstante Verschiebungsgeschwindigkeiten mit

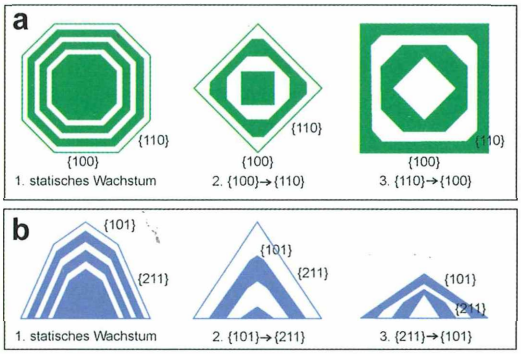


Abb. 5: Idealisierte Darstellung des Zirkonwachstums zum erleichterten Verständnis der in Abbildung 4 gebotenen Ergebnisse. a Wachstum der Prismenformen {100} und {110}, b Wachstum der Pyramidenformen {101} und {211}.

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

Fortdauer des Wachstums (statisches Wachstum; Kristalle a und f in Abb. 4). Ein weiterer Fall beinhaltet eine sukzessive Substitution der Form {101} durch die Form {211}, das heißt den Übergang von Zirkonkristallen mit flacher Pyramide zu Kristallen mit steiler Pyramide (Kristall b). Im dritten Fall liegt schließlich genau der umgekehrte Trend vor, das heißt die Form {211} wird kontinuierlich durch die Form {101} verdrängt (Kristalle c–e).

Fragt man wiederum nach, welche chemischen Faktoren für die Realisierung der oben genannten Entwicklungen verantwortlich zeichnen, so kann das statische Wachstum wie im Fall des Prismenwachstums auf eine ausgewogene Magmenchemie zurückgeführt werden, bei welcher keine Wachstumsblockade der gegebenen Form erfolgt und diese demzufolge eine nahezu konstante Verschiebungsgeschwindigkeit aufweist. Im Falle des Übergangs von Form {101} zur Form {211} kommt es in weitgehender Übereinstimmung mit den Theorien von Pupin (1980) zu einer Adsorption von Alkali-Kationen, Al und P an die Pyramidenflächen und zur Wachstumshemmung von {211}. Die flache Pyramide wächst unterdessen ungestört weiter, sodass die äußere Morphologie schlussendlich durch die Dominanz von {211} geprägt wird. Welche chemischen Faktoren bewirken jedoch umgekehrt eine Hemmung des Wachstums der flachen Pyramide? Hier ist die Forschung bislang an ihre Grenzen gestoßen und konnte deshalb noch kein in sich konsistentes Erklärungsmodell vorlegen. Erste Hypothesen deuten aber dahin, dass Wassermoleküle und Spurenelemente eine Blockade von {101} bewirken und diese Form damit für die äußere Morphologie bestimmend wird.

Möchte man eine Schlussfolgerung ziehen, so kann man folgenden groben Zusammenhang zwischen Zirkonwachstum und Magmenchemie entwickeln. In alkalischen Magmen mit erhöhter Konzentration an Spurenelementen wird bevorzugt eine aus den Formen {110} und {211} bestehende äußere Zirkonmorphologie gebildet, wohingegen in eher kalkalkalischen, H_2O-reichen Magmen eine äußere Morphologie mit den Formen {100} und {101} vorherrscht. Zukünftige Forschungen werden uns hier sicherlich noch mehr Klarheit bringen.

Literaturhinweise

Kleber, W.: Einführung in die Kristallographie. Verlag Technik, Berlin 1990.

Kossel, W.: Zur Theorie des Kristallwachstums. Nachrichten der Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen, Mathematisch-physikalische Klasse 1927, 135–143 (1927).

Longley, W. R.: The collected works of J. W. Gibbs. Yale University Press, New Haven 1957.

Paterson, B. A., Stephens, W. E., Herd, D. A.: Zoning in granitoid accessory minerals as revealed by backscattered electron imagery. Mineralog. Mag. 53, 55–61 (1989).

Pupin, J. P.: Zircon and granite petrology. Contr. Mineral. Petrol. 73, 207–220 (1980).

Ribbe, P. H.: Orthosilicates. Mineralogical Society of America (MSA), Washington DC 1982.

Spangenberg, K.: Wachstum und Auflösung der Kristalle. In: Dittler, R., Joos, G. (Hrsg.): Handwörterbuch der Naturwissenschaften, 2. Aufl., S. 362–401. Fischer, Jena 1935.

Stranski, I. N.: Zur Theorie des Kristallwachstums. Z. phys. Chem. 136, 259 (1928).

Sturm, R.: Longitudinal and cross section of zircon: a new method for the investigation of morphological evolutional trends. Schweiz. Mineral.-Petrogr. Mitt. 79, 309–316 (1999).

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

Sturm, R.: Mikroskopischer Einblick in die Formenvielfalt magmatischer Kristalle am Beispiel des akzessorischen Zirkons. Mikrokosmos 95, 213–218 (2006).

Sunagawa, I.: Morphology of crystals. Terra Scientific, Tokio 1987.

Vavra, G.: On the kinematics of zircon growth and its petrogenetic significance: a cathodoluminescence study. Contr. Mineral. Petrol. 106, 90–99 (1990).

Vavra, G.: Systematics of internal zircon morphology in major Variscan granitoid types. Contr. Mineral. Petrol. 117, 331–344 (1994).

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

MOMENT BITTE, SIE HABEN SICH MIT SCHULBÜCHERN EINGECREMT.

PFLEGEPRODUKTE KAUFEN ODER KINDERN IN AFRIKA ZUKUNFT SCHENKEN.

Sichern Sie mit 31 Euro im Monat das Leben eines Kindes. Werden Sie Pate!

Rufen Sie uns an! 0180 33 33 300 (9 Cent/Min.)

www.kindernothilfe.de

Kindernothilfe e.V. · Düsseldorfer Landstraße 180 · 47249 Duisburg

KINDER NOT HILFE

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

Biomechanik von Flugsamen Teil 1: Mikrostrukturierung und Verringerung der Sinkgeschwindigkeit der Fallschirmchen des Löwenzahns

Werner Nachtigall

Über die Diasporen (Verbreitungseinheiten) des Löwenzahns *Taraxacum officinale* und ihren fallschirmartigen Pappus wurde im MIKROKOSMOS bereits berichtet (Vaihinger, 1984). Auch Stumm und Linskens (1994a, b) haben in einer zweiteiligen Artikelserie im MIKROKOSMOS Verbreitungsorgane von Samen und Früchten, darunter auch die Löwenzahn-Flugsamen, beschrieben und mit hervorragenden Fotos dokumentiert. Hier wird nun nach rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen (REM) und stroboskopischen Registrierungen Näheres mitgeteilt zum Pappusaufbau der Löwenzahn-Diasporen und zu seiner Rolle beim Absinken.

Vaihinger (1984) hat Blüten und Früchte des Löwenzahns detailliert beschrieben. Er bezeichnet die gesamte Flugeinrichtung, bestehend aus widerhakenbesetzter Frucht, Zwischenstiel (Pappusstiel) und peripher ausstrahlendem Haarschopf (Pappus) als Fallschirmchen (Abb. 1a). Diese Bezeichnung wird hier beibehalten. Es wurden 169 bis 408 Fallschirmchen pro Fruchtstand ausgezählt.

Frühere Messdaten

Die reife Frucht (Abb. 1d) ist rund 4 mm lang, bis 1 mm breit und in meist 15 Längsreihen mit Zähnchen besetzt. Der Pappusstiel ist 13–21 mm lang. Der Pappus als eigentlicher Fallschirm erreicht 10–15 mm Durchmesser. Er besteht aus etwa 120, von einer Zentralscheibe mit 0,3–0,4 mm Durchmesser radiär ausstrahlenden, leicht nach oben gebogenen Haaren von basal rund 20 µm, distal rund 10 µm Dicke. Ein Haar besteht (in der Spitzenregion) aus meist vier Längssträngen, die in 9–30 µm lange und basal 10–12 µm breite, stachelartig abgebogene Gebilde (Bremshaken) enden, etwa 120 pro Haar und damit 14.000 pro Pappus. Die Durchschnittsmasse eines gesamten Fallschirmchens beträgt nach zwei Messansätzen 0,45 und 0,25 mg.

Als Fall- oder Sinkgeschwindigkeit wurden beim intakten, trockenen Pappus im Mittel 28 cm/s bestimmt. Bei experimenteller Verringerung der Pappushaare auf 10% stieg die Sinkgeschwindigkeit auf 91 cm/s an, also auf 325%.

Funktionelle Mikrostrukturierung

Die Fallschirmchen (Abb. 1a) verbinden Frucht und Pappus durch einen kräftigen, längsgerieften Pappusstiel (Abb. 1b), der beim Absinken wegen seiner Längsanströmung einen gewissen Reibungswiderstand erzeugen und möglichst leicht gebaut sein sollte. Beides ist der Fall, wie weiter unten und in einer Folgearbeit gezeigt wird. Die peripheren Riefen entsprechen langgestreckten inneren Hohlräumen, die mit Wanddicken von rund 4 µm aneinander grenzen (Abb. 1c). Im mittleren Querschnitt ist die Hohlraumfläche nach Ausplanimetrierung rund 40-mal so groß wie die Fläche der Festsubstanz von trockener Zellulose. Ein perfekter Leichtbau, wichtig für eine geringe Sinkgeschwindigkeit. Lediglich 9% der Gesamtquerschnittsfläche werden von festen Strukturen eingenommen.

Dies gilt erst recht für die Pappushaare. An ihrem Ansatz an der Zentralscheibe sind sie verdickt, unsymmetrisch gebaut und aufgebogen (Abb. 1e). Sie bestehen ebenfalls aus röhrigen

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

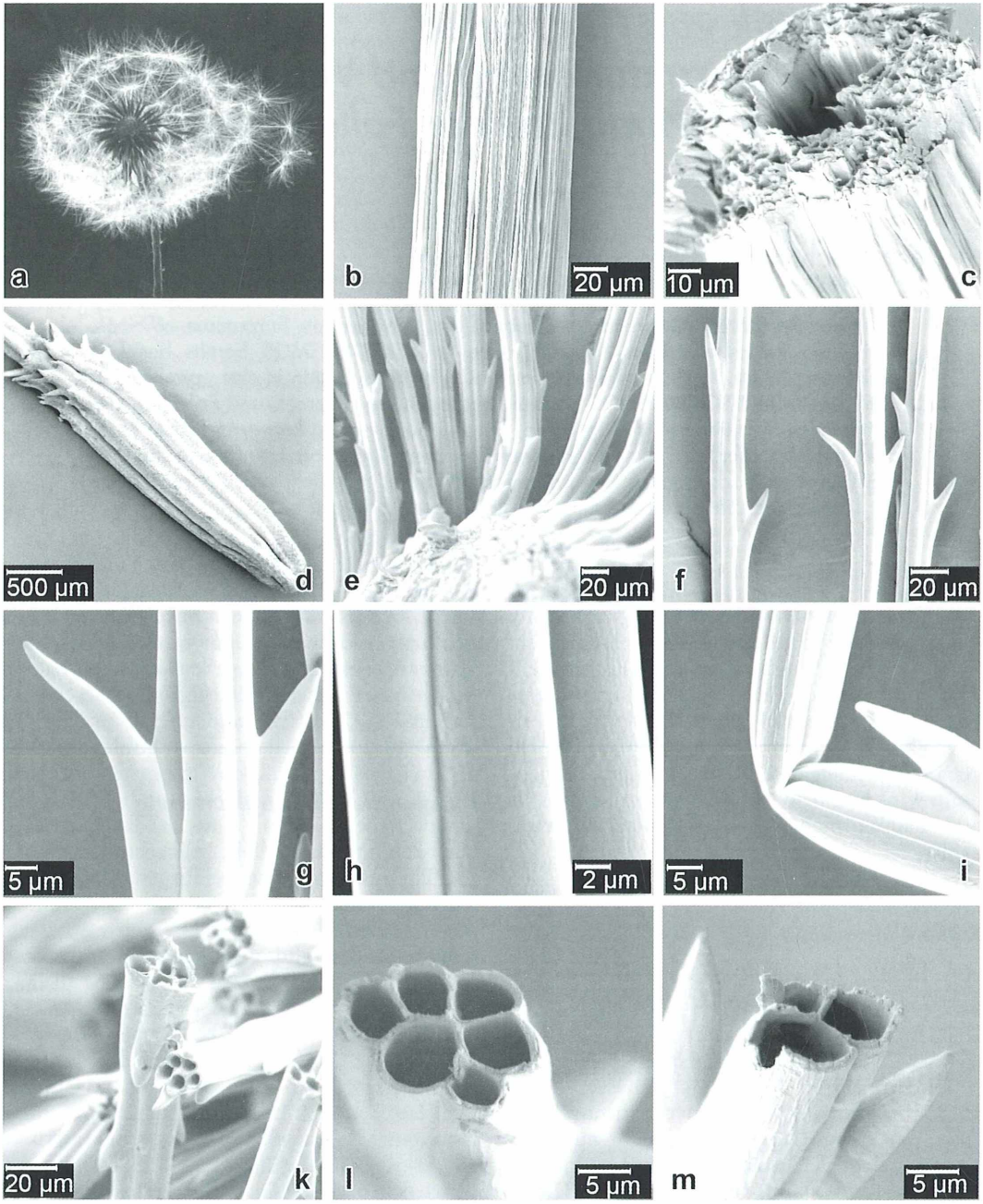


Abb. 1: REM-Aufnahmen von Teilen eines Fallschirmchens. a Übersicht; Fallschirmchen (Diasporen) auf Fruchtboden. b Oberfläche Pappusstiel. c Querschnitt Pappusstiel, Mitte. d Frucht. e Ansatz Pappushaare. f Drei Pappushaare, Ausschnitt etwa Mitte. g Bremshaken groß, Ausschnitt von f. h Oberfläche Pappushaar, oberes Drittel. i Knickung Pappushaar. k Schnitt durch Pappushaare, etwa Mitte. l Querschnitt Pappushaar, nahe Basis. m Querschnitt Pappushaar, oberes Viertel. REM-Aufnahmen und Tafelzusammenstellung von A. Wisser, Saarbrücken.

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

Strukturen, die sich peripher als Außenriefen abzeichnen (Abb. 1h). Im Knicktest (Abb. 1i) zeigt sich schon, dass sie weitgehend hohl sein müssen. Etwa in der Mitte weist der Querschnitt rund fünf Röhrchen auf (Abb. 1k), an der Basis deutlich mehr (Abb. 1l), in der Spitzenregion etwas weniger (Abb. 1m). Im Querschnitt der Abbildung 1l werden rund 22% der Fläche von Feststrukturen eingenommen, im Querschnitt der Abbildung 1m rund 17%. Die Wanddicken betragen bei Abbildung 1l rund 2 µm, bei Abbildung 1m nur rund 1 µm.

Die Röhrchen enden in unterschiedlicher Höhe. Jedes läuft in einen kurzen, seitlich abgebogenen und spitz zulaufenden Fortsatz aus (Abb. 1e–g). Vaihinger (1984) hat diesen Fortsätzen den Namen Bremshaken gegeben und vermutet, dass sie durch Zusatzwiderstand die Sinkgeschwindigkeit vermindern. Dass dies der Fall sein könnte, lassen Pilotversuche mit der Acker-Kratzdistel *Cirsium vulgare* erkennen, bei der derartige Strukturen die Form feinster Härchen haben, die abstreifbar sind. Sie werden in einer Folgearbeit beschrieben.

In der Entstehung entspricht ein Röhrchen sicher einer Zelle (wenn nicht einer Zellreihe). Vom Umgebungsgewebe manschettenartig zusammengepresst muss sich diese bei Erhöhung des Turgor-Innendrucks als Pneu verhalten und somit durch Streckung langgezogene Schläuche bilden, wie man von botanischen wie technischen Strukturen weiß. Müller-Schneider (1983) zitiert Ulbrich (1928), wonach die Samen von *Trichospermum grandiflorum* 2 cm lange einfache Haare ausbilden, *bestehend aus mehreren Reihen langgestreckter Zellen, die an den Querwänden papillenartige Vorsprünge zeigen. Bei einigen Arten wachsen die Vorsprünge zu feinen, einzelligen Haaren aus* – offenbar ein allgemeines Bauprinzip für Schwebehaare. Man könnte diese Strukturen – ob sie nun hakenförmig sind wie bei *Taraxacum* oder haarförmig wie bei *Cirsium* – in Anlehnung an Vaihinger (1984) allgemein als Schwebefortsätze bezeich-

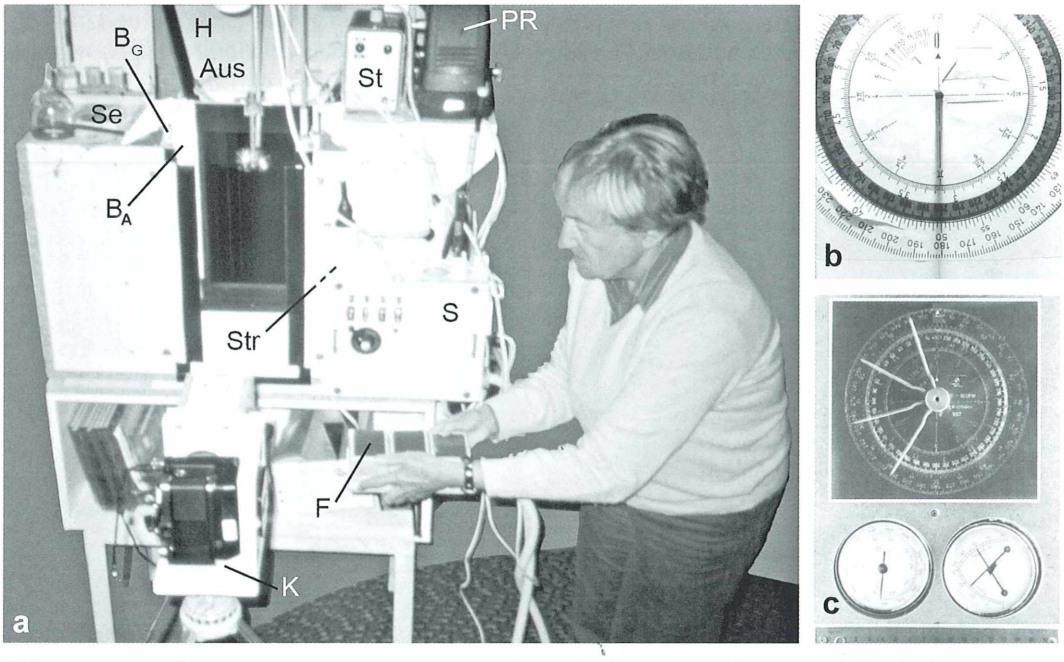


Abb. 2: Verwendete Apparatur. a Registriereinrichtung (Fall-Apparatur), Weitwinkelaufnahme. Aus Auslöseeinrichtung, B_A Tiefstrahlerbirnen Auflicht, B_G Tiefstrahlerbirnen Gegenlicht (auch auf Gegenseite), F Dreifach-Fernauslöser (für Str/B – Aus – K), H Hintergrundkasten, K Kamera, PR Auswerteprojektor mit Steuergerät St und Umlenk-Oberflächenspiegel, S Steuereinrichtung, Se Seitwind-Einrichtung, Str Stroboskop. b Einstelltafel mit 10-cm-Rundstab. c Einstelltafel mit Frequenzeichung (oben; geblitzter mittlerer Winkelabstand 43,17°, entsprechender Blitzabstand 0,12 s, entsprechende Blitzfrequenz 8,34 s^{-1} (geringe Unregelmäßigkeiten zu Beginn einer Blitzserie können ausgemittelt werden). Darunter Luftdruck, Feuchte, Temperatur, Lineal.

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

nen. Wie es in der Ontogenese zum Auswachsen solcher Fortsätze kommt, ist mir nicht bekannt; nach dem Austrocknen bilden die Zellulose-Zellwände jedenfalls stabile Röhrchen.

Methodik der Fallversuche

Es wurde ein Fallapparat gebaut (Abb. 2a), mit dem die Fallbewegung von Diasporen im Lampenlicht (je 12 insgesamt dimmbare Tiefstrahler von je 50 W als Gegen- und Auflicht), unter stroboskopischer Beleuchtung (Eurolite, Blitzröhre 30 cm, parallel zur Fallstrecke, bis 12 Blitze/s) oder unter Kombination von beiden gegen dunklen Hintergrund fotografisch registriert werden kann (Abb. 3b–d). Verwendet wurde eine Olympus OM 2N mit Motoransatz und Fernauslöser, Belichtungszeit meist 1 s, Blende 16 bei 100 ASA. Das Hintergrundfenster ist 24 cm breit und 36 cm hoch (Fallstrecke) und entspricht damit den Proportionen eines Kleinbilds.
Absolut dunkler Hintergrund wurde durch einen angeflanschten Hintergrundkasten (hintere Kantenlänge 95 cm) erreicht, der vollständig mit schwarzem Samtpapier ausgeklebt worden war. Seitwind kann durch ein variables Gebläse dazugegeben werden, das Luft über zwei poröse Kunststoff-Matten zur Turbulenzreduktion und eine langgestreckte, parallel zur Fallstrecke ausgerichtete Düse ausbläst, wodurch die Diasporen seitlich abgetrieben werden.
Der Fall der Diasporen, die auf einer Startplattform (halbe Rasierklinge) ausgerichtet worden sind, wird mittels Fernauslösung über einen Elektromagneten gestartet, der die Plattform ruckartig wegreißt. Vor jeder Aufnahmeserie werden die Blitzfrequenz geeicht sowie atmosphärische und geometrische Parameter registriert.
Auf einer in der Fallebene eingestellte Ausrichtungstafel ist, senkrecht zu dieser Ebene, ein bleistiftartiger Fortsatz eingelassen, der nach Ausrichtung (Tafelebene senkrecht zur optischen Achse) als Kreisscheibchen erscheinen muss (Abb. 2b). Auf einer danach eingestellten Eichtafel dreht sich ein weißer Zeiger unter Blitzbeleuchtung gegen eine schwarze 360°-Scheibe mit genau 1 Umdrehung/s, woraus

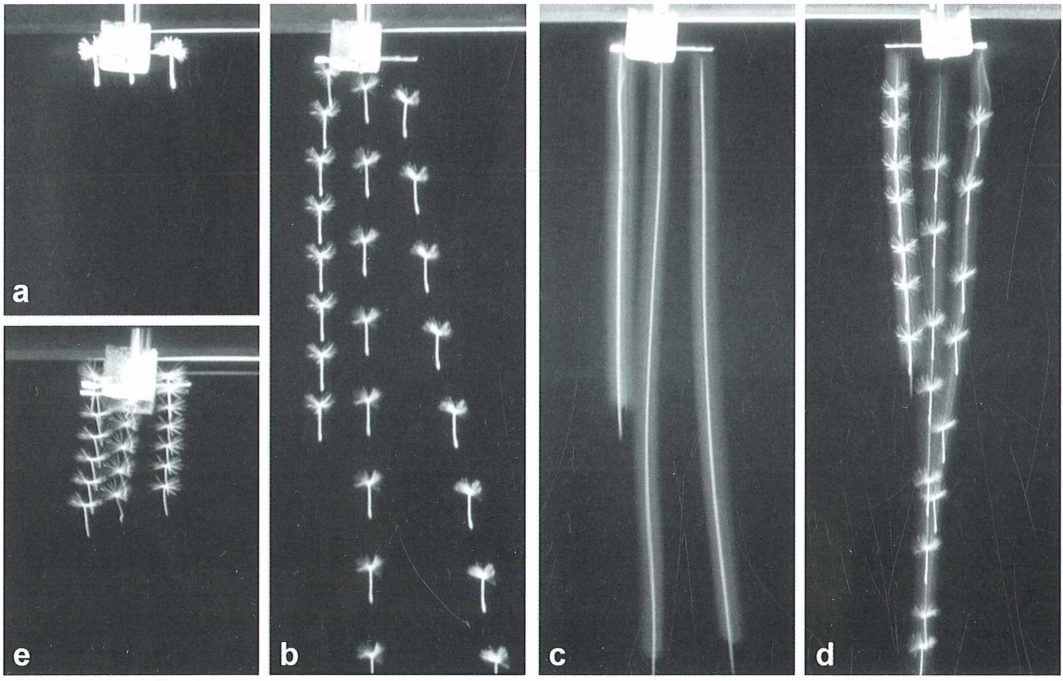


Abb. 3: Fallende *Taraxacum*-Diasporen. a Triplettt an der Auslöseeinrichtung. b Fallendes gleiches Triplett, nur Stroboskop (Blitzabstand 0,12 s). c Fallendes gleiches Triplett in der Orientierung von b, nur Gegenlichtbirnen. d Fallendes gleiches Triplett in der Orientierung von b, Stroboskop und Gegenlicht. e Fallendes gleiches Triplett ohne Früchte (Blitzabstand 0,10 s).

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

Blitzfrequenz und Blitzabstand zu entnehmen sind (vgl. Legende zu Abb. 2c). Mitregistriert werden die momentanen Werte von Luftdruck, Temperatur und relativer Luftfeuchte sowie, über ein Lineal, eine Streckenmarke.
Auf den Fallapparat wurde seitlich ein Auswerteprojektor mit Schaltgerät und Umlenkspiegel fest aufgebaut, der eine sofortige zeichnerische Auswertung gerahmter Dias erlaubt. Über ein fotografiertes Millimeterpapier und den justierbaren Umlenkspiegel kann die Projektion auf ein Zeichenblatt verzerrungsfrei eingestellt werden. Endwerte von Messungen und Berechnungen (Rechnergenauigkeit) werden hier und in den Folgearbeiten formal mit zwei Kommastellen angegeben.

Mittlere Sinkgeschwindigkeit

Zur Bestimmung der mittleren Sinkgeschwindigkeit $v_{sink\ gesamt}$ wurden von unterschiedlichen Fruchtständen, aber bei gleichen klimatologischen Kenngrößen, neun Diasporen mit erkennbar kräftig ausgebildeten Früchten mit n_{gesamt} = 43 einzelnen Geschwindigkeitsbestimmungen untersucht. Nach der statistischen Beziehung $x_{gesamt} = \Sigma x_{quer\ i} n_i / n_{gesamt}$ betrugen Mittelwert ± Standardabweichung v_{sink} (cm/s) = 29,75 ± 1,83 (±6,15%). Ein Registrierbeispiel zeigt die Abbildung 3, mittlere und rechte Diaspore. Der Wert stimmt gut mit den Messdaten von Vaihinger (1984) (28 cm/s) und von Müller-Schneider (1983) (33 cm/s) überein. Keine Übereinstimmung ergibt sich mit Schmidt (1918) (10 cm/s). Vielleicht hat der letztgenannte Autor mit Fallschirmchen ohne Früchte experimentiert. Für diesen Fall habe ich 9,81 ± 0,92 (±9,41%) cm/s gemessen (3 Diasporen, 11 Messintervalle, Abb. 3e). Für Überschlagsrechnungen kann man jedenfalls 30 cm/s einsetzen. Außerdem wurden zwei Diasporen mit erkennbar dünn-geschrumpfter, offensichtlich tauber Frucht untersucht. Hier betrugen die Werte 19,00 ± 0,06 cm/s (±0,32%), also lediglich 64%, verglichen mit dem Normalfall. Ein Registrierbeispiel zeigt die Abbildung 3, linke Diaspore.

Sinkgeschwindigkeit und Pappuskonfiguration

Eine experimentelle Reduzierung einerseits der Zahl der Pappushaare, andererseits der Pappusfläche müsste die Sinkgeschwindigkeit erhöhen. Das Erstere hat, wie oben angeführt, bereits Vaihinger (1984) gezeigt. Zum Letzteren wurden Fallversuche durchgeführt, bei denen das Schirmchen unbeeinflusst war, durch Rundherumschneiden mit einer feinen Präparierschere auf $^1/_2$ und $^1/_4$ gekürzt und schließlich ganz abgeschnitten worden war (Abb. 4). In dieser Reihenfolge waren die mittleren Sinkgeschwindigkeiten 26,77, 43,94, 80,80 und 116,50 cm/s. Im Verhältnis zum normalen Pap-

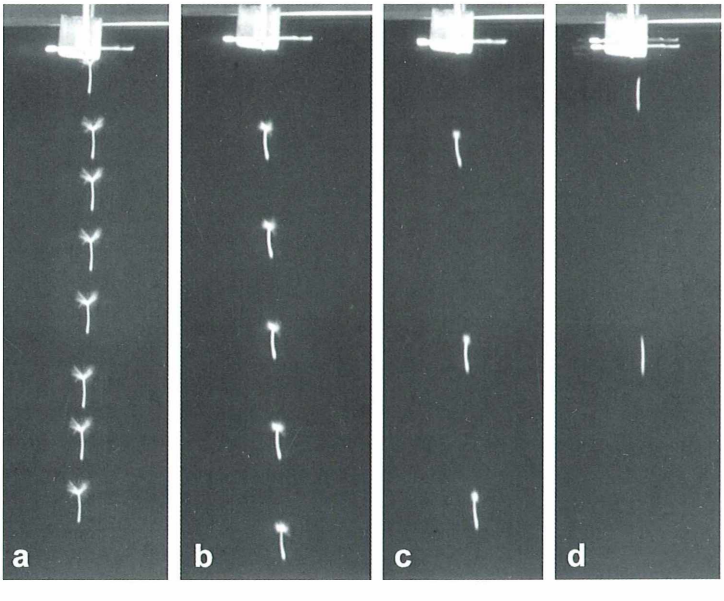


Abb. 4: Fallende *Taraxacum*-Diasporen. a–d Ein- und dieselbe Diaspore mit unterschiedlichen Veränderungen am Pappus. a Unverändert. b Pappus auf $^1/_2$ des Durchmessers gekürzt. c Pappus auf $^1/_4$ gekürzt. d Pappus abschnitten. Blitzabstand 0,12 s.

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

pus stiegen sie also rund um die Faktoren 1,0, 1,6, 3,0 und 4,4.
Die Sinkgeschwindigkeit der Frucht alleine konnte mit dieser Normprozedur nicht bestimmt werden, da sie zu schnell durch die Messstrecke fällt. Mit Streak-Aufnahmen bei bekannter Blitzdauer konnte sie zu etwa 200 cm/s abgeschätzt werden. Fallversuche aus 228,5 cm Höhe unter Benutzung der oben beschriebenen Auslöseapparatur, einer glänzend weißen Schüssel als Auffangbecken und einer elektronischen Stoppuhr sowie unter Einbeziehung einer vorher bestimmten Reaktionszeit haben für n = 10 unterschiedliche, trockene Früchte verschiedener Stände die folgenden Werte erbracht: $v_{sink\,Frucht}$ (cm/s) = 179,44 ± 22,66 (±12,63%). Die Beschleunigungsstrecke kann zu höchstens 10% der gesamten Fallstrecke abgeschätzt werden. Im Verhältnis zur unbeeinflussten Diaspore steigt also die Fallgeschwindigkeit der Frucht alleine um den Faktor 6. Bei naturfeuchten Früchten steigt sie wohl noch etwas stärker.
Besonders interessant sind die noch vergleichsweise geringe Sinkgeschwindigkeit der Diaspore nach vollständigem Abschneiden des Schirmchens und der sehr hohe Wert für die Frucht nach zusätzlichem Abschneiden des Pappusträgers. Das zeigt, dass der Pappusträger einen beachtlichen Reibungswiderstand erzeugen muss, der sich mit dem Druckwiderstand des Schirmchens zum Gesamtwiderstand addiert. Eine grobe Abschätzung führt zu mindestens rund 15% Pappusträgeranteil. Somit kann man also sagen, dass die gesamte Schwebeeinrichtung die Sinkgeschwindigkeit der Früchte auf 17% oder weniger herabsetzt und damit sehr effektiv ist.

Danksagungen

Der Autor dankt der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz für die Arbeitsmöglichkeiten, Herrn Dr. Alfred Wisser, Saarbrücken, für die REM-Aufnahmen und die Tafelanordnung der Abbildungen.

Literaturhinweise

Müller-Schneider, P.: Verbreitungsbiologie (Diasporologie) der Blütenpflanzen. Veröff. Geobot. Inst. ETH Zürich, Stiftung Rübel, 3. Aufl., Heft 61, Zürich 1983.
Schmidt, W.: Die Verbreitung von Samen und Blütenstaub durch die Luftbewegung. Österr. Bot. Z. 67, 313–328 (1918).
Stumm, C. K., Linskens, H.-F.: Verbreitungsorgane bei Samen und Früchten – eine fotografische Erkundung. I. Die Vielfalt der Transportmechanismen. Mikrokosmos 83, 201–205 (1994a).
Stumm, C. K., Linskens, H.-F.: Verbreitungsorgane bei Samen und Früchten – eine fotografische Erkundung. II. Die Früchte der Compositen mit ihren Anhängseln. Mikrokosmos 83, 281–286 (1994b).
Ulbrich, E.: Biologie der Früchte und Samen (Karpobiologie). Springer-Verlag, Berlin 1928.
Vaihinger, K.: Die Transportmittel der Früchte des Löwenzahns. Mikrokosmos 73, 365–367 (1984).

Verfasser: Prof. em. Dr. rer. nat. Werner Nachtigall, Arbeitsstelle für Technische Biologie und Bionik der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz an der Universität des Saarlands, Postfach 151150, 66041 Saarbrücken, E-Mail: w.nachtigall@mx.uni-saarland.de

Buchbesprechung

Böhlmann, D.: Warum Bäume nicht in den Himmel wachsen – Eine Einführung in das Leben unserer Gehölze.
Quelle & Meyer, Wiebelsheim 2009, 375 Seiten, 493 meist farbige Abbildungen, 5 Tabellen, gebunden, €19,95, ISBN 978-3-494-01420-3.

Dieses Buch beschäftigt sich in sieben Kapiteln mit allen Facetten der Biologie von Gehölzen: *Stamm und Krone, Die innere Zellstruktur, Die Wurzel, Die Blatter, Fortpflanzung und Vermehrung von Bäumen, Zerfall von Laub und Holz im Kreislaufgeschehen, Superlative der Bäume.* Ein 10seitiges Glossar botanischer Fachtermini rundet das Werk ab. Der Text ist gut zu lesen; Fachausdrücke werden zufrieden stellend erklärt. Informative Abbildungen unterstützen und illustrieren das geschriebene Wort. Bisweilen hätte ich mir insbesondere bei den Fotos größere Bildformate gewünscht, die allerdings bei dem vorliegenden Taschenbuchformat kaum möglich wären. Besonders hervorzuheben ist, dass bei den sehr instruktiven schematischen Darstellungen nicht auf alte (dann vielfach nicht mehr ganz aktuelle) Vorlagen zurückgegriffen wurde, sonder offenbar alle neu für das vorliegende Buch angefertigt wurden.
Insgesamt liegt ein sehr empfehlenswertes Bändchen mit einem ausgesprochen positiven Preis-Leistungsverhältnis vor, in dem man immer wieder gerne herumstöbern wird, um sich nach und nach ein Gesamtbild zum Thema Bäume zu verschaffen.

Wilhelm Wagner, Essen

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

UV-Schutz bei Pflanzen – Mikroskopisch demonstriert

Eberhard Schnepf

Die pflanzliche Epidermis reduziert die Transpiration und schützt die darunter liegenden Gewebe vor chemischen, physikalischen und biologischen Angriffen. Sie stabilisiert mechanisch zudem die pflanzlichen Organe. Zum Schutz vor physikalischen Schädigungen gehört auch der Schutz vor UV-Strahlen. Mit fluoreszenzmikroskopischen Methoden lässt sich leicht zeigen, dass die Epidermiszellen UV-Licht nicht durchlassen, und dass die Schutzstoffe bei Tomatenfrüchten in der Cuticula, bei vielen anderen Früchten und Blättern aber im Zell-Lumen lokalisiert sind.

Kürzlich untersuchten Lopez-Casado et al. (2007) die biomechanischen Eigenschaften der Epidermis von Tomatenfrüchten (siehe auch Matas et al., 2004). Sie isolierten Epidermis-Streifen mit Hilfe von Zellulasen und Pektinasen und spannten sie in Extensiometer ein. Die so präparierten Streifen enthielten aber immer noch Zellulose und andere fibrilläre Polysaccharide, wie Färbungen mit dem optischen Aufheller Calcofluor White zeigten (zur Methode siehe den MIKROKOSMOS-Artikel von Schnepf, 2005). Es handelte sich bei diesen Streifen also wohl um Epidermiswände und nicht um Cuticeln (wie sie von den Autoren genannt wurden). Bei manchen dieser Streifen wurden die Polysaccharide mit Flusssäure entfernt. Dadurch nahm ihre Elastizität und Steifheit stark ab, während ihre Dehnbarkeit zunahm. Die Elastizität und Steifheit der Epidermis wird also von den fibrillären Polysacchariden bestimmt, die Dehnbarkeit von der Cuticula im engen Sinne.

Um die Unklarheiten der von den Autoren verwendeten Terminologie zu durchschauen, habe ich selbst Flachschnitte durch die Epidermis von Tomatenfrüchten (und danach von anderen Früchten und Blättern) angefertigt, sie mit Tinopal angefärbt und fluoreszenzmikroskopisch untersucht. Die Ergebnisse waren teilweise überraschend.

Cuticulärer UV-Schutz bei Tomaten

Tinopal ist ein Fluoreszenzfarbstoff, der dem Calcofluor White sehr ähnlich ist. Ich benutzte ein Mikroskop mit einer Epifluoreszenz-Ausrüstung (G 365, FT 395, LP 430), also ein Mikroskop, mit dem das Objekt mit UV-Licht einer Wellenlänge unter 395 nm bestrahlt wird. Die mit Tinopal gefärbten Strukturen, das sind fibrilläre Polysaccharide, leuchten dann bläulich-weiß. Oft habe ich bei den fotografischen Aufnahmen etwas Hellfeld-Licht zusätzlich eingespiegelt, um auch die nicht fluoreszierenden Strukturen sichtbar zu machen.

Das für mich zunächst überraschende Ergebnis war, dass die Schnitte durch die Tomatenschale zwei ganz verschiedene Aspekte darboten. Es gab Schnitte, bei denen die Epidermis-Außenwände und die Wände der weiter innen liegenden Zellen hell aufleuchteten (Abb. 1). Nur die antiklinalen (senkrecht zu Oberfläche stehenden) Wände der Epidermiszellen blieben ungefärbt. Sie sind cutinisiert. Bei anderen Schnitten fluoreszierten alle Wände gar nicht, obwohl aufliegende Fremdkörper gefärbt waren (Abb. 2). In manchen Präparaten fluoreszierten nur ganz am Schnittrand liegende Wandteile (Abb. 3). Einmal fand ich einen Schnitt, bei dem beide Aspekte nebeneinander zu sehen waren (Abb. 4).

Die Klärung, wieso es zu diesen unterschiedlichen Erscheinungen kommt, war einfach. Wenn das UV-Licht zuerst auf die natürliche Außenseite des Schnittes trifft, also zunächst auf die Cuticula („Außenansicht"), fluoreszieren weiter innen liegende Wände nicht. Das UV-Licht dringt nicht bis zu ihnen. Wenn das UV-Licht von innen, von der Schnittfläche her, auf das Gewebe fällt („Innenansicht") fluoreszieren alle nicht cutinisierten Wände. Die Cuti-

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

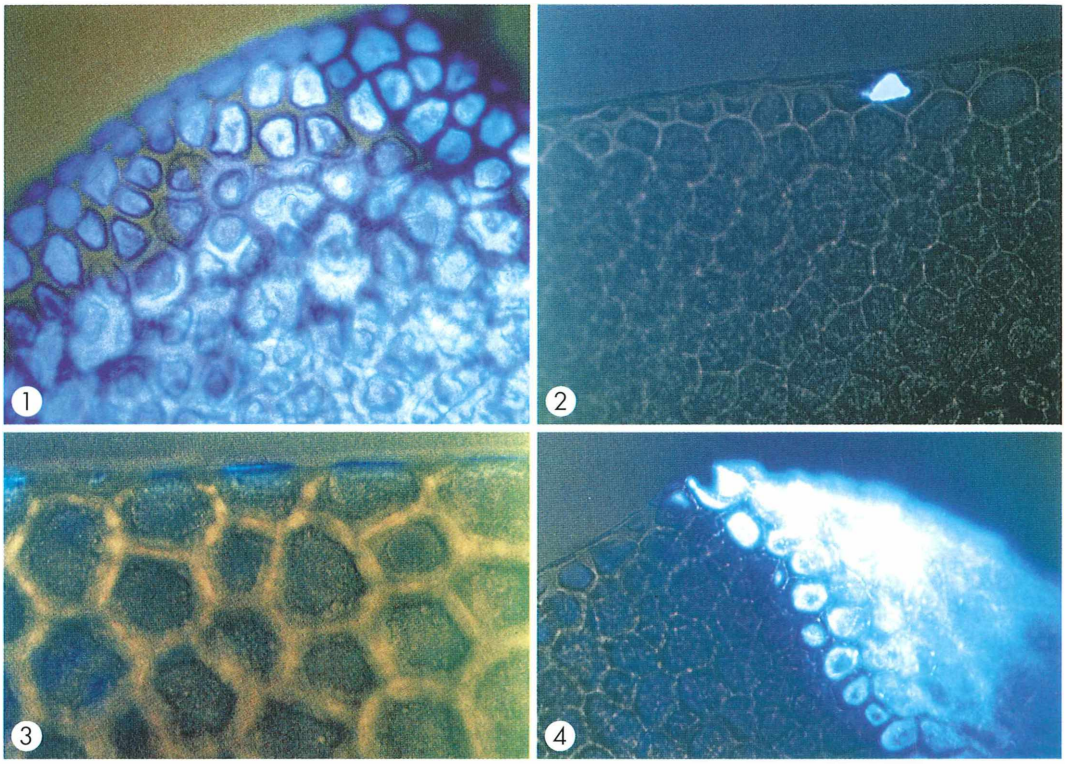


Abb. 1–11: Flachschnitte durch die Epidermis von Beeren oder Blättern, gefärbt mit Tinopal. Fluoreszenzmikroskopie, meist mit etwas eingespiegeltem Hellfeld-Licht.
Abb. 1–4: Tomate (Frucht). – Abb. 1: Innenansicht. Alle Wände fluoreszieren, nur die Antiklinen der Epidermiszellen nicht. Vergr. 170fach. – Abb. 2: Außenansicht. Die Zellwände fluoreszieren nicht, nur ein auf dem Schnitt liegender Fussel. Vergr. 170fach. – Abb. 3: Außenansicht. Nur Teile von Epidermis-Außenwänden am äußersten Schnittrand fluoreszieren. Vergr. 240fach. – Abb. 4: Außen- (links) und Innenansicht (rechts) bei einem teilweise umgeklappten Schnitt. Vergr. 170fach.

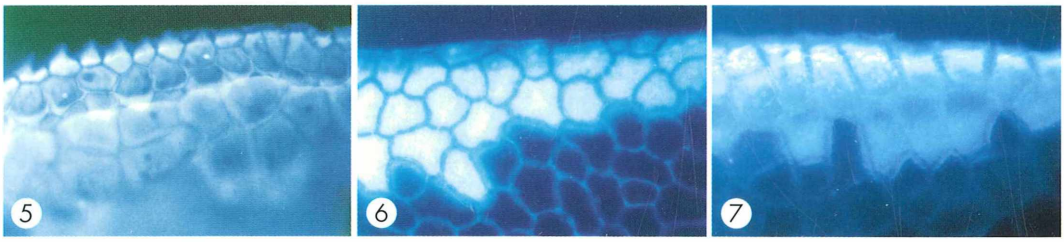


Abb. 5 und 6: Schneebeere (Beere). – Abb. 5: Innenansicht. Alle Wände fluoreszieren. Vergr. 115fach. – Abb. 6: Außenansicht. Bei den am Schnittrand liegenden, verletzten Epidermiszellen sind die Außenwände und – nur schwach – die Antiklinen gefärbt. Bei den unverletzten, weiter innen liegenden Zellen färben sich nur die Antiklinen, und dies nur schwach. Vergr. 115fach. – Abb. 7: Holunder (Beere). Außenansicht. Die Außenwände der am Schnittrand verletzten Epidermiszellen fluoreszieren stark, die Antiklinen nur sehr schwach. Vergr. 115fach.

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

cula der Tomatenfrüchte ist also ein Schutzfilter, welches verhindert, dass das UV-Licht in das Blattgewebe gelangt. Die Fluoreszenz am Schnittrand in Abbildung 3 ist wohl darauf zurückzuführen, dass hier die Cuticula bei der Präparation lokal zerstört wurde. In Abbildung 4 war der Schnitt teilweise umgeklappt, so dass Innenansicht und Außenansicht nebeneinander lagen.

Zellulärer UV-Schutz bei Beeren und Blättern

Verhindert die Cuticula immer und überall das Eindringen von UV-Licht? Gewöhnlich nimmt man ja an, dass die Vakuolen-Inhaltsstoffe diese Funktion ausüben. Zur Klärung habe ich die Beeren und Blätter mehrerer anderer Pflanzen untersucht, Flachschnitte mit Tinopal gefärbt und von außen und von innen dem UV-Licht exponiert. Bei den Früchten der Schneebeere (*Symphoricarpos albus*) fluoreszieren bei der Innenansicht alle Wände, wie zu erwarten ist (Fig. 5). Bei Bestrahlung von außen fluoreszieren stark die Außenwände der Epidermiszellen am Wundrand (Abb. 6), und zwar die nicht cutinisierten Bereiche von Zellen, die bei der Präparation versetzt wurden, und deren Inhalt ausgelaufen ist. Die Außenwände der weiter innen liegenden, unverletzten Epidermiszellen fluoreszieren nicht, wohl aber – wenn auch nur schwach – die antiklinalen Wände der Epidermiszellen. Die Cuticula verhindert hier also nicht vollständig das Eindringen des UV-Lichtes in die Epidermis, schwächt es aber etwas. Es gibt aber einen effektiveren Schutz für das weiter innen liegende Gewebe durch den Inhalt der Epidermiszellen, wohl durch Stoffe in der Vakuole.

Ähnlich wie bei der Schneebeere fluoreszieren in Außenansicht die Außenwände nur in den verletzten Zellen bei den Beeren vom Holunder

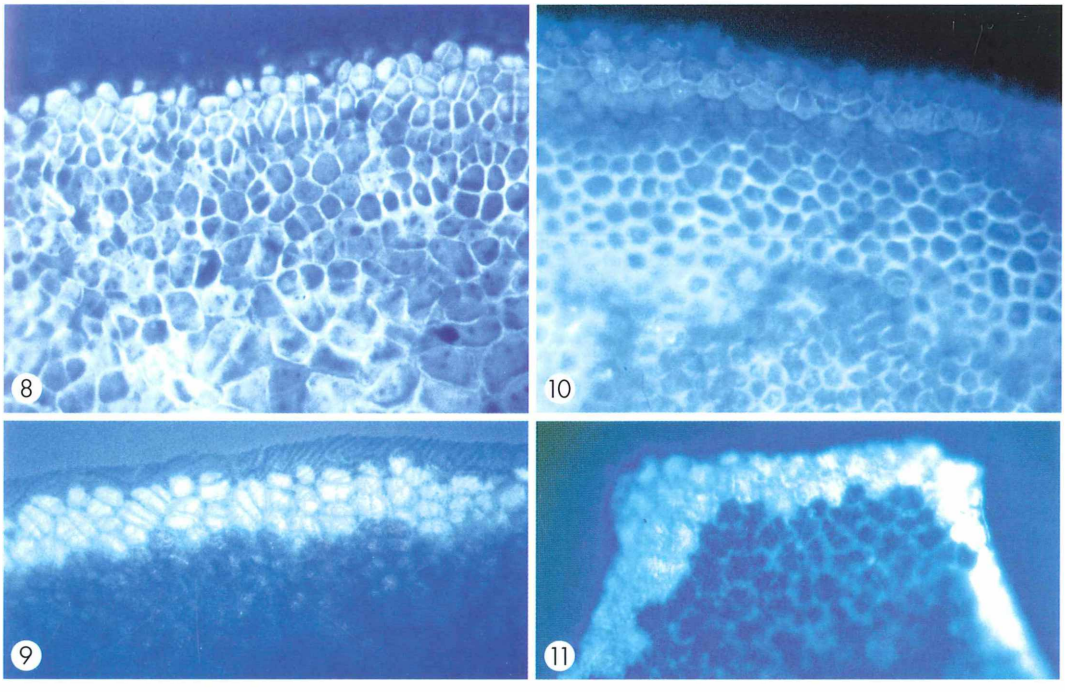


Abb. 8 und 9: Stechpalme (Blatt). – Abb. 8: Innenansicht. Alle Wände fluoreszieren. Vergr. 175fach. – Abb. 9: Innenansicht. Nur die Wände der verletzten Epidermiszellen am Schnittrand fluoreszieren. Vergr. 175fach. – Abb. 10 und 11: Efeu (Blatt). – Abb. 10: Innenansicht. Im inneren Teil des Schnittes fluoreszieren die antiklinal orientierten Wände, nicht die Außenwände. Am Schnittrand fluoreszieren die Außen- und Innenwände. Dahinter folgt eine Zone nur schwach gefärbter Zellen. Vergr. 175fach. – Abb. 11: Außenansicht. Nur die Wände der verletzten Zellen am Schnittrand fluoreszieren. Vergr. 175fach.

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

(*Sambucus nigra*) (Abb. 7), vom roten Hartriegel (*Cornus sanguinea*), vom Schwarzen Nachtschatten (*Solanum nigrum*) und von Hagebutten. Bei den Holunderbeeren fluoreszieren die Antiklinen der unverletzten Epidermiszellen nur sehr schwach. Hier scheint also auch die Cuticula einen gewissen Schutz zu bieten.

Ähnliches gilt für die Epidermis von Blättern. Als Beispiele hierfür seien nur abgebildet die Epidermis von der Stechpalme (*Ilex aquifolium*) (Abb. 8 und 9) und von Efeu (*Hedera helix*) (Abb. 10 und 11). Bei der Innenansicht der Schnitte von Efeublättern fällt auf, dass, vom Schnittrand nach innen gehend, auf eine Zone mit stark gefärbten Außenwänden und Antiklinen eine Zone folgt, in der die Wände nur schwach fluoreszieren. Dann kommen Zellen mit stark gefärbten Antiklinen, deren Außenwände aber nicht gefärbt sind. Das sind unverletzte Zellen, deren Zellinhalt das UV-Licht nicht durchtreten lässt. Bei den nur schwach fluoreszierenden Zellen sind vermutlich die als Filter wirkenden Substanzen in die Zellwände eingedrungen, während sie bei den stark fluoreszierenden, stärker verletzten Randzellen ausgespült wurden.

Fazit

Vor UV-Schädigungen schützen also meistens Inhaltsstoffe von Epidermiszellen, wohl fast immer sekundäre Pflanzenstoffe, die in der Vakuole eingeschlossen sind, wie beispielsweise Flavonoide. Eine Ausnahme bilden die Tomatenfrüchte. Hier befinden sich Schutzstoffe in der Cuticula. Ein effektiver UV-Schutz ist allzumal wichtig. Das weiß jeder, der schon einmal einen Sonnenbrand gehabt hat.

Literaturhinweise

Lopez-Casado, G., Matas, A., Dominguez, E., Cuartero, J., Heredia, A.: Biomechanics of isolated tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit cuticles: The role of the cutin matrix and polysaccharides. J. Exp. Bot. 58, 3875–3883 (2007).

Matas, A. J., Cobb, E. D., Bartsch, J. A., Paolillo, D. J., Niklas, K. A.: Biomechanics and anatomy of *Lycopersicon esculentum* fruit peels and enzyme-treated samples. American J. Bot. 91, 352–360 (2004).

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

Verfasser: Prof. Dr. Eberhard Schnepf, Dürerweg 11, 69168 Wiesloch

Nachricht

Mikroskopie trifft Kunst

Die Tübinger Mikroskopische Gesellschaft (TMG) geht neue Wege, um für die Mikroskopie zu werben. In einem *Dialog der Kulturen* wird die künstlerische Umsetzung von Mikrobildern gezeigt (Abb. 1). Neben einer Galerie der schönsten Mikrobilder von Mitgliedern der TMG zeigen wir, was Künstler aus dieser Anregung machen. Wir wollen durch diese Kombination völlig neue Kreise für das Thema Mikroskopie ansprechen.

Die Ausstellung beginnt mit einer Vernissage am Freitag, den 8. Mai 2009 in der Galerie H. Fischer, Herrenbergerstr. 6 in Tübingen, und endet mit einer Finissage am Sonntag, den 7. Juni 2009.

Natürlich werden Vorführungen gemacht, wie die Herstellung von gefärbten Handschnitten, Kristallpräparate im polarisierten Licht, Beobachtung von lebendem Plankton und Vieles mehr.

Alfons Renz, Klaus Herrmann,
www.tmg-tuebingen.de

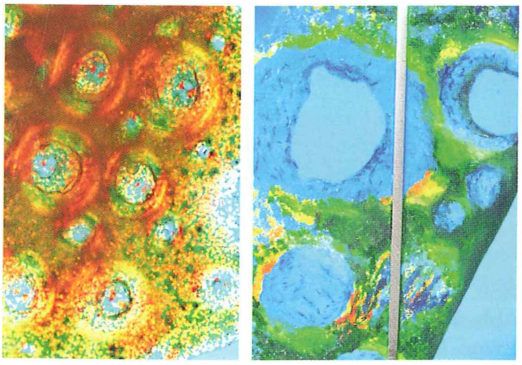


Abb. 1: Flächenschnitt einer Orangenschale (links) und dessen Umsetzung in ein Diptychon (rechts, 40 × 60 cm, Acryl) (Foto: Klaus Herrmann, Gemälde: Brigitte Herrmann, beide Neuhausen).

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

Kondensor und Objektiv: Ein unschlagbares Team, wenn man sie lässt – Teil 1: Theoretische Betrachtungen

Gerhard Kauer

Folgende Szene spielte sich in einem renommierten Labor vor einem Hochleistungsmikroskop ab: Der Abteilungsleiter präsentiert dem staunenden Laborpersonal stolz den für viel Geld erworbenen, legendären Planapochromaten mit der sagenumwobenen numerischen Apertur von 1,4. Strukturen, die sogar nur 0,2 µm klein sind, könnten damit noch aufgelöst und daher sichtbar gemacht werden. Schnell war ein geeignetes Präparat zur Hand, an dem diese enorme technische Leistung getestet werden kann: Die besonderen Feinstrukturen einer Süßwasserdiatomee.

Das fantastische Objektiv ist ein Ölimmersionsobjektiv – klar, dass das notwendige optische Öl zwischen Deckglas und Frontlinse gebracht wurde. Jeder blickte durch das Mikroskop, aber es wollte keine rechte Freude unter den Beteiligten aufkommen. Schließlich sagte einer: *Nun, das habe ich aber so mit unserem einfacheren Objektiv auch schon gesehen.* Was ist geschehen?

Optik und ihre numerische Apertur

Weißes Licht trifft auf einen Gegenstand und wird von diesem verändert. So können bestimmte Farben absorbiert werden und das Objekt erscheint somit in der Farbmischung der verbleibenden Wellenlängen. Wird die Energie des Lichtes, das den Gegenstand in Richtung Auge wieder verlässt vermindert, erscheint uns das Objekt dunkler. Wie das Licht vom Objekt verändert wird, hängt von der Beschaffenheit des Gegenstandes ab. Ist seine Oberfläche beispielsweise sehr glatt, so werden die Lichtstrahlen unter bestimmten Bedingungen reflektiert und das Objekt erscheint uns sogar spiegelnd. Trifft Licht also auf einen Gegenstand, so nimmt es Informationen über seine Beschaffenheit mit, wenn es diesen wieder verlässt. Das Licht strahlt nach dem Kontakt mit der Materie des Objektes über die Lichtstreuung in alle möglichen Richtungen weiter und nimmt die Information über die Materie des Objektes an seinem Aufschlagspunkt mit auf seine Reise.

Der Welle-Teilchendualismus erlaubt es, Photonen als ungeheuer kleine Teilchen aufzufassen. Photoniker sprechen in neuerer Zeit lieber von Welltikeln (*Welle* und Par*tikel*). Sie sind stabile, ungeladene, ruhemasselose Elementarteilchen, die sich stets mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Wichtig für unser aktuelle Betrachtung ist momentan nur, dass sie sehr klein und den Streuungsgesetzen unterworfen sind. Der große französische Physiker Louis de Broglie brachte es auf den Punkt als er sagte: *Licht ist, kurz gesagt, die feinste Form der Materie.*

Welltikel und ihre Eigenschaften

Welltikel sind daher sehr viel kleiner als die im Mikroskop gerade noch beobachtbaren Materiestrukturen. Unzählig viele dieser Energiequanten treffen also auf einen bestimmten Materiepunkt unseres beobachteten Objektes. Sie verändern sich durch dessen Beschaffenheit und streuen von dort wieder weg, der Oberflächenbahn einer Kugelschale folgend. Es gibt keine einzelnen Lichtstrahlen, sondern nur endliche Ausschnitte aus Kugelwellen, die in der Optik häufig als Lichtkegel mit deren begrenzenden Randstrahlen und geometrischem Zentralstrahl gezeichnet werden. Nur der Kürze halber wird dies als „Lichtstrahlen" zusammengefasst.
Das Auflösungsvermögen des Mikroskopobjektivs hängt davon ab, welche vom beobachteten Objekt ausgehenden Lichtstrahlen über das Deckglas hinaus gerade noch in das Objektiv

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

eindringen können. Diese Grenzstrahlen bilden einen Winkel zur optischen Achse des Objektivs. Für die Öffnung dieses Winkels α ist sowohl der freie Abstand zwischen Frontlinse und Objekt, das Medium mit seinem Brechungskoeffizienten n_D zwischen Frontlinse und Deckglas als auch der Durchmesser der Objektivfrontlinse wichtig.

Numerische Apertur

Dargestellt wird dieser Zusammenhang in der Abbe'schen Formel für die Numerische Apertur $N = n_D \sin(\alpha)$, wobei α in dieser Formel der halbe Öffnungswinkel des zur Beobachtung verwendbaren Lichtkegels ist. Sie gilt nicht nur für Objektive, sondern beispielsweise auch für Kondensoren oder für einzelne Lichtfasern eines Lichtleiters.
Je flacher der Winkel α ist, unter dem die Lichtstrahlen den Kondensor verlassen können, desto mehr informationstragendes Licht kann in das Objektiv zur Auswertung eindringen. Dazu muss dessen Öffnungswinkel groß genug sein, dieses vom Objekt abgestrahlte Licht auch wieder einzufangen. Dieser Lichtstrom Φ ist über das Quadrat der Apertur definiert und kann über die Formel $\Phi = \pi B L N^2$ beschrieben werden. Dabei ist π die Kreiszahl 3,141592654..., B die Leuchtdichte der Lichtquelle, L die Größe der Leuchtfläche und N die bereits erwähnte Numerische Apertur.
Somit ist es nicht verwunderlich, dass die Numerische Apertur zur Abschätzung der erreichbaren Auflösung des optischen Systems dient. Zwei Punkte sind dann durch unsere Optik getrennt darstellbar, wenn sie mindestens den Abstand A aufweisen Mit der Formel $A = \lambda/(2\,N)$ kann man sehr leicht abschätzen, welches Objektiv man für eine zu untersuchende Struktur einsetzen sollte. In dieser Formel ist A die Auflösung des optischen Systems und λ die Wellenlänge des zur Untersuchung eingestrahlten Lichtes. Angenommen, man möchte Strukturen erkennen, die circa A = 1 µm klein sind. Dann benötigt man ein Objektiv, das bei Licht einer Wellenlänge von beispielsweise λ = 0,5 µm (550 nm) betrieben, eine Apertur von höher als N = 0,5 µm/(2 × 1 µm) = 0,25 aufweist.

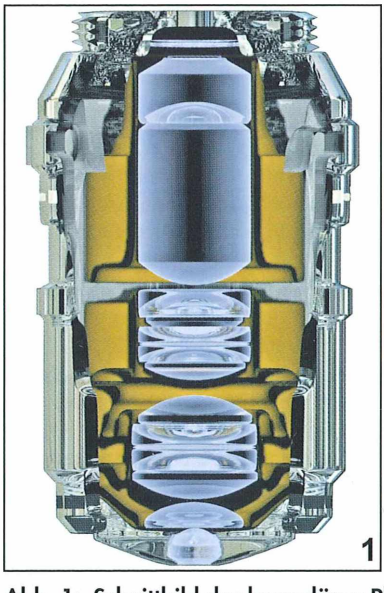


Abb. 1: Schnittbild des legendären Planapochromaten 63×, Numerische Apertur 1,4 aus dem Hause Carl Zeiss.

Zusammenspiel im System Kondensor/Objektiv

Möchte man also zu einem bestimmten Zeitpunkt möglichst viel über die Beschaffenheit des Objektes an einem bestimmten Punkt wissen, so müsste man einerseits möglichst viele solcher Informationsträger auf die zu untersuchende Struktur abschießen können und andererseits dann auch alle gerade von diesem Oberflächenpunkt abfliegenden Lichtquanten wieder einsammeln und auswerten.
„Möglichst viele Photonen" heißt dabei nicht, das Licht heller zu drehen, denn dadurch würde nur seine Energie erhöht. Die Anzahl der Informationsträger pro Zeiteinheit zu erhöhen, ist gleichbedeutend mit der Vergrößerung des Lichtstromes. Und der wird sogar durch das Quadrat der Apertur des Strahlenkegels beeinflusst – so entscheidend ist also die Apertur für den Lichtstrom, der letztendlich dazu dient, die feinsten Strukturen sichtbar werden zu lassen.
Was man bräuchte, wäre also ein optisches System, das mit möglichst hoher Numerischer Apertur arbeitet, um möglichst viel Licht auf die interessierenden Strukturen zu bündeln. Denn nur dadurch werden ausreichend viele Photonen pro Zeiteinheit über die lokal vorliegende Objektbeschaffenheit der zu untersuchenden Struktur verändert. Nur dann wird die Information über den dort vorherrschenden strukturellen Aufbau groß genug.

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

Informationen, die man nicht erhält, nutzen nichts. Also muss man dafür sorgen, dass diese wertvollen Informationen anschließend auch über ein ebenfalls hochaperturiges, kurzbrennweitiges Objektiv mit entsprechend ausgereifter Optik eingesammelt werden können. Nur dann ist eine Auswertung der Information möglich. In Abbildung 1 kann man erahnen, welche enormen technologischen Anstrengungen notwendig sind, um derartige Optik hervorzubringen. Einerseits soll das Objektiv sehr lichtstark sein, andererseits aber auch keine Farbfehler aufweisen. Das Bild soll noch dazu völlig plan erscheinen. Bereits seit den 1975er Jahren sind hochpräzise konstruierte und sorgfältig geschliffene Linsengruppen im Einsatz, die außerdem noch aus unterschiedlichen Glassorten gefertigt werden, um die höchstmögliche Abbildungsleistung bei gleichzeitig hoher Numerischer Apertur zu gewährleisten.

Wir erinnern uns: Hohe Numerische Apertur bedeutet im Nenner der Auflösungsformel: Kleiner Abstand der interessierenden Strukturen und damit hohe Auflösung. Und die wünschen wir uns.

Mit Ölimmersionsobjektiven hoher Numerischer Apertur und kurzer Brennweite rückt man recht nahe an die zu untersuchenden Strukturen heran. Von einem sehr kleinen Bereich des zu untersuchenden Objekts soll die Beschaffenheit untersucht werden. Der Spalt zwischen Frontlinse des Objektivs und dem beobachteten Objekt wird immer enger. Der so genannte Arbeitsabstand des Objektivs und damit seine Brennweite sind sehr klein. Diese kurzbrennweitigen, hochaperturigen Objektive können über ihre enorm großen Bildwinkel α sehr viel Information über kleine Materiepunkte des beobachteten Gegenstandes einsammeln.

Wenn man so nahe am Objekt ist, hat man eine große Vergrößerung gewählt. Hohe Numerische Aperturen sind somit in der Praxis meist bei stark vergrößernden Objektiven zu finden. Sie sind in der Lage, auch sehr flach aus dem Präparat abgestrahlte Photonen zu erfassen und daher auch diese Informationsträger der Auswertung zuzuführen.

Was ging im eingangs erwähnten Fall im Labor schief?

Ein Ölimmersionsobjektiv mit großer numerischer Apertur wird eingesetzt. Es ermöglicht somit sehr viele der mit Informationen beladenen Photonen einzufangen. Dennoch kommt im geschilderten Fall zu wenig Information in dieses Objektiv hinein, denn seine tatsächliche Leistung scheint es ja nicht zu bringen. Mit anderen Worten: Es fehlt an Photonen, unseren Informationsträgern. Wo sind sie geblieben?

Um diese Frage näher zu beleuchten, werfen wir einen kurzen Blick unter den Objektträger. Hier ist in unserem Beispiel die Photonenquelle zu suchen. Aus dem Kondensor fliegen die vielen potenziellen Informationsträger auf das Objekt zu, treffen auf seine Oberfläche, verändern sich und werden möglichst vom Objektiv erfasst.

Sehr viel technisches Know-how steckt ebenfalls in der Konstruktion eines solchen hochwertigen Beleuchtungssystems, um maximale Aperturen bei höchstmöglicher, homogener Ausleuchtung des Sehfeldes zu erzielen. In Abbildung 2 ist das Frontlinsensystem eines achromatisch aplanatisch korrigierten Kondensors dargestellt. Auch hier sind präzise geschliffene Linsengruppen eingesetzt worden, um die hohen Anforderungen der physikalisch notwendigen Lichtemission zu gewährleisten.

An der Frontlinse eines hochwertig gefertigten Kondensors ist dessen numerische Apertur eingraviert. Das bedeutet, dass die Frontlinse des Kondensors ebenfalls über einen definierten Öffnungswinkel verfügt, unter dem die Informationsträger – unsere Photonen – maximal auf das Objekt zufliegen können. Entscheidend ist, dass Kondensoren, wie Objektive auch, in Trocken- und Immersionssysteme unterschieden werden (Abb. 3). Trockenkondensoren beziehungsweise Trockenobjektive sind optisch so gerechnet, dass diese lediglich über die Luft mit dem Objektträger optimal verbunden sind.

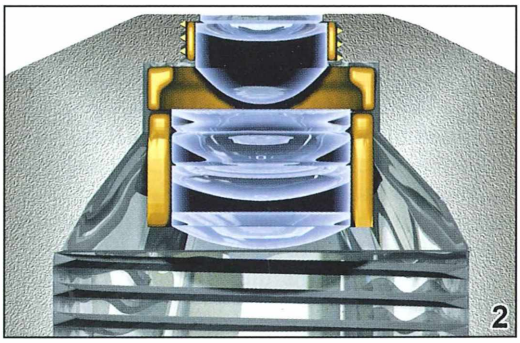


Abb. 2: Frontlinsensystem eines achromatisch aplanatisch korrigierten Kondensors.

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

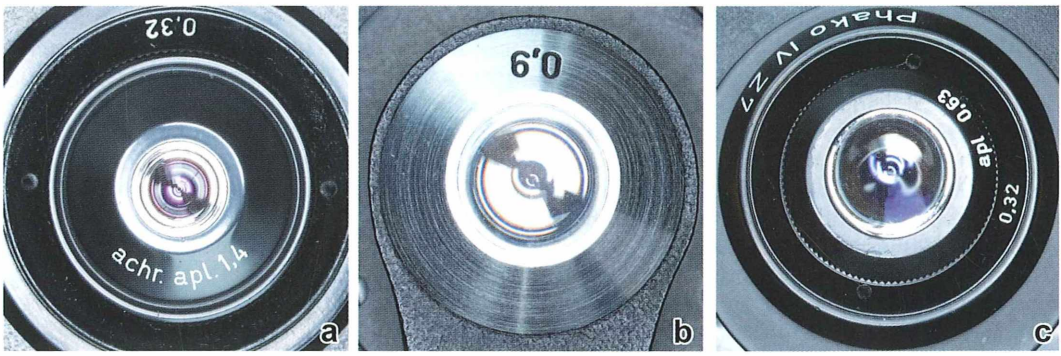


Abb. 3: Unterschiedliche Kondensoren mit ihren hier dargestellten Frontlinsen. a Achromatisch aplanatischer Ölimmersionskondensor, Numerische Apertur von 1,4. b Typischer Trockenkondensor in Klapplinsenausführung, Numerische Apertur 0,9. c Spezialtrockenkondensor für große, homogene Leuchtfelder mit niedriger Numerischer Apertur von 0,63.

Deren Frontlinsen dürfen also weder mit Wasser noch mit Immersionsöl betrieben werden.

Immergierbarer Kondensor und was passiert, wenn man ihn nicht immergiert?

Die Linse des eingesetzten achromatisch aplanatisch korrigierten Immersionskondensors ist zur Frontseite hin völlig plan, um optimal mit dem zur Immersion notwendigen Öl versehen werden zu können. Photonen, die sich im Glas bewegen und an dessen Grenze zur Luft austreten, erfahren eine Lichtbrechung. Luft hat einen geringeren Brechungsindex als Glas. Daher werden sie von der optischen Achse weg gebrochen. In der Abbildung 4 befindet sich unten ein Glaskörper, darüber ist das Medium Luft. Die Optische Achse ist als senkrechte Linie zur Glasoberfläche eingezeichnet. Der Randstrahl eines Lichtkegels strebt unter einem Winkel β der Grenzschicht Glas/Luft zu. Am Übergang zum optisch weniger dichten Medium Luft erfahren die Photonen eine Ablenkung vom Lot der Optischen Achse weg. Die Photonen fliegen nun mit dem Winkel α weiter. Von außen meint man, dass sie von einem ganz anderen Ort als dem tatsächlichen Punkt (P) abgeflogen wären. Man spricht vom scheinbaren Winkel α.

Ein Beobachter sieht diese Lichtstrahlen also unter einem Winkel aus dem Glas austreten, der scheinbar flacher ist als der tatsächliche Verlauf des Randstrahls im Glas war. Im Grenzfall werden Photonen, die unter einem bestimmten Winkel im Glas auf die Grenzschicht zur Luft treffen, so aus der optischen Achse abgelenkt, dass sie praktisch parallel zur Glasoberfläche weiterfliegen. Diese Lichtstrahlen sind besonders unangenehm, weil sie als Streulicht im Präparat zur Verminderung der Abbildungsleistung beitragen können. Alle Photonen, die unter einem noch flacheren Winkel aus dem Glas auf die Grenzschicht zur Luft treffen, prallen an dieser ab und werden in das Glas zurückgeworfen. Diese stehen als Informationsträger im Präparat dann gar nicht mehr zur Verfügung.

Insgesamt sinkt die maximal mögliche numerische Apertur des abgestrahlten Lichtes (für den eingesetzten achromatisch aplanatischen Immersionskondensor an der Frontlinse eingravierten Wert ist dies 1,4) auf den maximal möglichen eines gewöhnlichen Trockenkondensors von nur noch 0,95.

In Abbildung 5 wird ein achromatisch-aplanatisch korrigierter Immersionskondensor mit Luft als Medium mit dem Objektträger verbunden. Das emittierte Licht folgt dem Strahlenbrechungsverlauf eines typischen Trockenkondensors. Die Lichtstrahlen bewegen sich also für den außen stehenden Betrachter im Glas mit dem scheinbaren Winkel α = arc sin (0,95/1,515) = 38,83° relativ zur optischen Achse. Nach dem Übergang in das weniger dichte Medium Luft erfahren die Photonen eine Ablenkung von der optischen Achse weg. Ihre Numerische Apertur in Luft ist dann $N = n_{Luft} \sin(\alpha)$, wobei n_{Luft} = 1,000293 ist. Sie bewegen sich nun mit dem Winkel α = arc sin (0,95/1,0) =

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

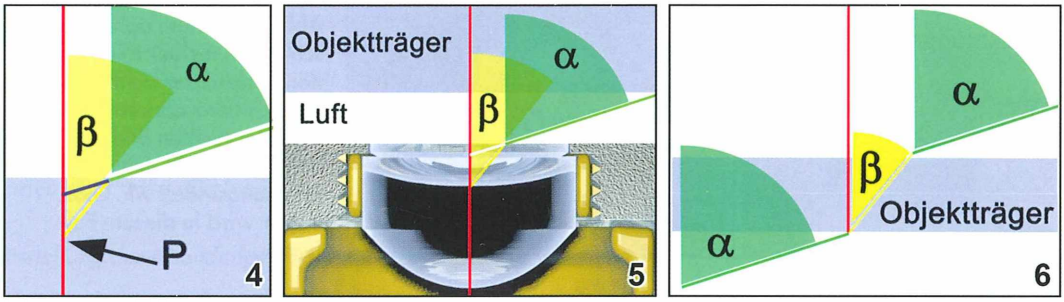


Abb. 4: Lichtbrechung an Phasengrenzen Glas/Luft und der scheinbare Winkel α. – Abb. 5: Ein Immersionskondensor strahlt Licht niedriger Apertur (b) unter einem scheinbaren Winkel α ab, wenn dessen Frontlinse an Luft grenzt. – Abb. 6: Die Lichtbrechungen an den Phasengrenzen Luft/Glas und Glas/Luft zeigen den prinzipiellen Verlauf der Lichtkegel durch das Objekt (Medium zwischen Objektträger und Deckglas ist vernachlässigt). Der scheinbare Winkel α wird an das Objektiv weitergegeben.

71,81° auf die Unterseite des Objektträgers zu. Somit kann auch der achromatisch aplanatisch korrigierte Immersionskondensor, wie man im Lichtbrechungsverlauf sieht, lediglich Licht einer Apertur eines solchen Trockenkondensors von 0,95 auf die Unterseite des Objektträgers einstrahlen.

Situation: Nicht immergierte Objektträgerunterseite

Eine weitere Lichtbrechung, allerdings in umgekehrter Richtung findet dann an der Unterseite des Objektträgers statt: Photonen treten aus dem Medium Luft in das Medium Glas ein. Sie erfahren entsprechend eine Lichtbrechung zum optischen Lot hin.
Die unter einer niedrigeren Apertur im Kondensor abgestrahlten Photonen bewegen sich mit dem flacheren Winkel von 71,81° durch die Luft auf die Grenzfläche zum Objektträger zu. Sie erfahren nun beim Eintritt in das dichtere Medium Glas relativ zur optischen Achse eine Vergrößerung ihres Flugwinkels. Die Photonen bewegen sich nun im Glas des Objektträgers erneut im Winkel von $\alpha = \arcsin(0{,}95/1{,}0) = 38{,}83°$ weiter, was der Numerischen Apertur von 0,95 entspricht, die im Kondensor höchstens abgestrahlt werden konnte. Durch die Lichtbrechung an den Phasengrenzen Glas/Luft ist es also zu einer Einschränkung des Lichtstroms gekommen, der die feinen Strukturen des Objekts von der Lichtquelle aus erreicht.
In Abbildung 6 ist die Lichtbrechungssituation im Objektträger an den Phasengrenzen Luft/Glas/Luft (jeweiliges Medium) dargestellt. Die in Richtung Objektiv abfliegenden Photonen folgen dem oben beschriebenen, scheinbaren Winkel α des vom Kondensor eingestrahlten Lichtbündels. Es sind also weniger Photonen vorhanden, die von den lokal vorherrschenden Materieeigenschaften verändert werden und diese Veränderung als Information in das Objektiv weiter transportieren können. Die Informationsdichte ist geringer, weil der Lichtstrom über das Quadrat der Numerischen Apertur eingeschränkt wurde.

Situation: Immergierte Objektträgerunterseite

Wird in den Bereich zwischen Kondensorfrontlinse und Objektträger ein Immersionsmedium mit höherem Brechungsindex als der von Luft ($n_{Luft} = 1{,}000293$) gegeben, so werden die Photonen nicht mehr so stark von der optischen Achse weg abgelenkt. Der Einfluss des Mediums zwischen der Frontlinse des Kondensors und dem Objektträger hat entscheidenden Einfluss darauf, welche Randstrahlen eines Lichtkegels auf das Präparat eingestrahlt werden (Abb. 7). Optisch dichtere Medien erlauben es nun Randstrahlen, die mit flacherem Winkel α aus dem Kondensor abgestrahlt werden, ebenfalls auf die Objektstrukturen zu treffen und Information über dessen Beschaffenheit „mitzunehmen".
Bei Wasser als Immersionsmedium, das einen Brechungsindex von $n_{Wasser} = 1{,}33302$ aufweist, gelangen Photonen mit einer scheinbaren Ablenkung von bereits 64,5° relativ zur optischen

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

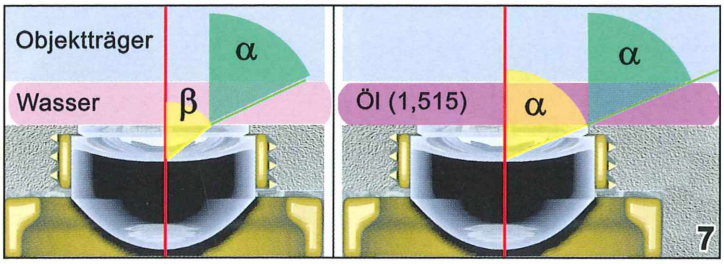


Abb. 7: Einfluss optisch unterschiedlich dichter Medien auf den Verlauf der Lichtkegel im Bereich der Kondensorfrontlinse. Im rechten Bild hat das optische Öl den gleichen Brechungsindex wie Glas. Daher wird in diesem Fall $\beta = \alpha$.

Achse in den Raum zwischen Kondensorfrontlinse und Objektträger (Abb. 7 links). Somit ergibt sich in Wasser eine maximale Numerische Apertur von immerhin $N_{Wasser} = 1{,}33 * \sin(64{,}5°) = 1{,}20$.
Es können somit Photonen aus dem Kondensor in den Objektträger vordringen, die unter einem wesentlich flacheren Winkel auf diese Grenzschicht treffen. Die Lichtbeugung relativ zur optischen Achse fällt wesentlich geringer aus und dieser maximal mögliche Grenzwinkel $\alpha = \arcsin(1{,}20/1{,}515) = 52°$ relativ zur optischen Achse wird flacher. Das Licht dieser Kondensorapertur ist es, welches bei der Wasserimmersion eine höhere Bestrahlungsapertur und damit eine quadratisch größere Informationsdichte ermöglicht als es bei Luft der Fall war.
Trägt man Immersionsöl mit dem gleichen Brechungsindex wie Glas auf, so erreichen Photonen mit einer Flugneigung von maximalen 67,3° über das Glas des Objektträgers die Strukturen des Objektes. Damit ist die unter praktischen Gesichtspunkten maximal realisierbare Apertur von $N_{Öl} = 1{,}515 * \sin(67{,}3°) = 1{,}4$ erreicht (Abb. 7 rechts). Somit ist an dieser Stelle der Einfluss des Mediums zwischen Kondensorfrontlinse und Objektträger klar: Das verbindende Medium hat entscheidenden Einfluss darauf, welche Randstrahlen eines Lichtkegels auf das Präparat gerade noch eingestrahlt werden können. Dies hat bei sonst gleicher Ausdehnung und Leuchtdichte der Lichtquelle sogar quadratischen Einfluss auf den Lichtstrom, der auf die zu beobachtenden Feinstrukturen einstrahlt.

Situation: Medium und Objekt

Natürlich erfährt das Licht auch beim Übergang aus dem Glas in das Präparatemedium (meist Wasser) und dem erneuten Übergang in das Deckglas hinein entsprechende Lichtbrechungen. Diese sollen aber bei dieser vereinfachten Darstellung vernachlässigt werden.

Situation: Deckglas und Objektiv

Die informationsbeladenen Lichtstrahlen bewegen sich nun im Deckglas auf die Grenze zum Immersionsmedium hin. An dieser Grenzschicht erfahren die Photonen eine Lichtbrechung, wenn sich der Brechungsindex des Mediums von dem des Glases unterscheidet.
Ist das angrenzende Medium Luft, so geschieht erneut eine Beugung weg von der optischen Achse. Wie im Fall der Kondensorfrontlinse geschildert, können nur die informationstragenden Photonen, welche unter einem Winkel von mindestens 38,83° auf die Grenzschicht treffen, in die Frontlinse des kurzbrennweitigen Objektivs gelangen. Somit gehen alle übrigen flacher auf diese Grenzschicht stoßenden Informationsträger, die an den interessierenden Feinstrukturen gestreut wurden, verloren. Ihre Information steht nun nicht mehr zur Auswertung zur Verfügung und man erkennt somit die interessanten Feinstrukturen nicht mehr. Deswegen wurde unser kurzbrennweitiges Hochleistungsobjektiv mit Öl immergiert.

Fazit

Wenn ein Kondensor an seiner Frontlinse die Numerische Apertur 1,4 aufweist, so kann er nur dann seine volle Leistungsfähigkeit entfalten, wenn diese Frontlinse ebenfalls über Immersionsöl mit dem Objektträger in Kontakt gebracht wird. Hochleistungskondensoren unterscheiden sich darin überhaupt nicht von Hochleistungsobjektiven. Wird ein solcher Hochleistungskondensor nicht über Immersionsöl mit dem Objektträger in optischen Kontakt gebracht, so sinkt seine tatsächliche Apertur auf

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

circa 0,9 herab und die Auflösung des optischen Gesamtsystems sinkt folglich ebenfalls.
Natürlich gab es in obiger Geschichte ein Happy End. Es genügte ein kleiner Tropfen Immersionsöl auf die Frontlinse des Kondensors und die 0,2 µm Strukturen des Testpräparates konnten endlich bestaunt werden.

Erstellung der Abbildungsgraphiken

Die Graphiken wurden vom Autor mit Blender, Version 2.48a erstellt. Das hochprofessionelle 3D-Zeichenprogramm kann kostenlos unter www.blender.org bezogen werden.
Hinweise für den Einstieg in die Nutzung des 3D-Zeichenprogramms gibt der Autor gerne auf Anfrage bekannt.

Literaturhinweise

Michel, K.: Die Grundzüge der Theorie des Mikroskops. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart 1981.
Freund, H.: Handbuch der Mikroskopie in der Technik – Instrumente für Durchlicht-Mikroskopie, Band 1, Teil 1, Umschau Verlag, Frankfurt/Main 1957.
Hecht, E.: Optik. Oldenbourg Verlag, München 2001.

Verfasser: Prof. Dr. Gerhard Kauer, Fachhochschule in Emden, Lehrstuhl für Bioinformatik, Constantiaplatz 4, 26723 Emden, E-Mail: Kauer@nwt.fho-emden.de

Buchbesprechung

Käß, W. und H. (Hrsg.): Deutsches Bäderbuch, 2. Auflage.
Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 2008,
1232 Seiten, 314 Tabellen,
282 Wasseranalysen,
588 meist farbige Abbildungen,
gebundenes Großformat,
€ 96,00,
ISBN 978-3-510-65241-9.

Das Prinzip aller Dinge ist das Wasser, denn Wasser ist alles und ins Wasser kehrt alles zurück. Diese auf Thales von Milet (624 bis 546) zurückgehende Feststellung ist treffender Weise dem Buch zum Geleit vorangestellt. Das Werk ist wichtig für die Balneologie (Kurortwissenschaft), eine der ältesten Wissenschaften und ärztlichen Therapieverfahren, die sich – angesiedelt in Lithosphäre, Atmosphäre und Hydrosphäre – erfolgreich um Wissenschaftlichkeit bemüht.
Die erste Auflage dieser Zusammenstellung geht auf das Jahr 1907 zurück und war gegliedert nach Geologie, Chemie, Pharmakologie, Klinik, Klimatologie und Volkswirtschaft. Mit kleinen Modifikationen wird diese Gliederung in der nun nach über 100 Jahren vorliegenden zweiten Auflage beibehalten. Es handelt sich um eine einzigartige Zusammenstellung aller deutschen Seeheilbäder und heilklimatischen Kurorte, die bereits jetzt schon als bibliophile Rarität eingestuft wird. Dem Ehepaar Käß, das im Auftrage der Vereinigung für Bäder- und Klimakunde die Mühe auf sich genommen hat, das vorliegende Werk herausgeberisch zu betreuen, kann an dieser Stelle nur herzlich zu seiner Leistung gratuliert werden. Wie mühselig dieses Unterfangen, das im Vorwort zu Recht als Sisyphusarbeit bezeichnet wird, tatsächlich war, weiß nur der nachzuempfinden, der einmal eine Publikation, an der eine Reihe verschiedener Autoren beteiligt war, herausgegeben hat.
Der beeindruckende, von über 85 Autoren verfasste Foliant ist in einen rund 100seitigen Allgemeinen Teil mit den Themen *Der balneologische Rahmen, Das Heilwasser, Quell- und Heilgase, Peloide* und einem mit 1100 Seiten ungleich umfangreicheren Speziellen Teil untergliedert, in dem 163 Einzelbeschreibungen deutscher Heilbäder und Heilquellenkurbetriebe zusammengefasst werden. Jeder dieser beiden Teile wird von einer eigenen, jeweils recht umfangreichen Bibliographie abgeschlossen.
Es ist nicht anzunehmen, dass sich angesichts des zwar angemessenen, aber doch heftigen Preises viele Privatpersonen dieses Spezialwerk zulegen. Es sollte aber gut sein, von der Existenz dieser einzigartigen Publikation zu wissen, um vielleicht anlässlich des nächsten Besuchs einer entsprechend leistungsfähigen Bibliothek einmal nachzuschauen, was es denn im wissenschaftlichen Detail mit dem Heilort auf sich hat, in dem man einmal kurz zu Besuch war oder wo man gar einmal ernsthaft „gekurt" hat. Auch bei Planungen zukünftiger (K)Urlaube oder Wellness-Aktivitäten kann es zweifelsohne sehr gute Dienste leisten.

Klaus Hausmann, Berlin

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

Abb. 1: Großflächige Anzeige in der FAZ vom 29. Januar 2009, illustriert mit einer historischen Wandtafel *PHYTOPLANKTON – Mikroalgen.*

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

Algen im Dienste der Klimaverbesserung

Klaus Hausmann

Den Anlass zu diesem Bericht gab eine etwas ungewöhnliche Zeitungsanzeige in der Frankfurter Allgemeinen Zeitung (FAZ) im Januar dieses Jahres (Abb. 1), auf die uns unser langjährige Autor Heribert Schäfers aus Krefeld aufmerksam machte. Illustriert wurde die Anzeige mit einer historischen Wandtafel aus dem universitären Lehrbetrieb. Das Interesse war geweckt. Zunächst war es aber gar nicht auf Anhieb klar, worum es überhaupt ging – sicherlich von den Machern der Anzeige intendiert. Im Text kann man lesen, dass Phytoplankton eingesetzt wird für ein besseres Klima. Unterzeichnet war die Anzeige mit *VoRWEg* gehen. Spätestens jetzt hätte man langsam stutzig werden können: RWE. Steht das nicht für Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk? Dankenswerterweise gab es in der Anzeige noch den Hinweis auf eine Homepage in Internet.

Als diese Seite abgerufen wurde, war auf Anhieb klar, um was es ging: CO_2-Konversion mit Hilfe einer Algenzuchtanlage im großen Stil (Abb. 2). In dem ansprechenden und informativen pdf *Das RWE-Algenprojekt in Bergheim-Niederaußem – Produktion von Mikroalgen unter Nutzung von Kraftwerksrauchgasen zur CO_2-Einbindung* kann man nachlesen, wie es zu diesem Projekt kam, was es beinhaltet und welche zukünftigen Ziele es anstrebt.

Motivation

Die Abtrennung von CO_2 aus Abgasen der CO_2-emittierenden Industrie wird in Zukunft eine bedeutende Rolle zur Reduktion von CO_2-Emissionen spielen, heißt es. Neben den Optionen zur Abtrennung des CO_2 aus den Prozessen und seiner Speicherung unter der Erde wird in Fachkreisen wie in der Öffentlichkeit immer häufiger über Möglichkeiten zur Umwandlung und Nutzung von CO_2 nachgedacht. Ein Ergebnis dieser Überlegungen ist das vom RWE initiierte Projekt zur CO_2-Einbindung durch Mikroalgen.

Mikroalgen sind, wie jeder MIKROKOSMOS-Leser weiß, Einzeller, die zur Fotosynthese befähigt sind. Für diesen Prozess wird CO_2 benötigt. Ein wesentlicher Vorteil von Mikroalgen ist, dass sie deutlich höhere Wachstumsraten aufweisen als alle Landpflanzen und dadurch dazu in der Lage sind, erheblich schneller CO_2 in Biomasse umzuwandeln.

Mikroalgen produzieren in hiesigen Breiten 60 bis 100 t/(ha × a) Trockensubstanz. Dabei werden 120 bis 200 t/(ha × a) an CO_2 gebunden. Die Wachstumsrate von Mikroalgen liegt deutlich über der von schnell wachsenden Energiepflanzen wie Weiden oder Pappeln, welche 12 t/(ha × a) Trockensubstanz produzieren. Die Algen können in geschlossenen Anlagen wachsen und es können Standorte genutzt werden, die aufgrund ihrer Bodenbeschaffenheit für den Pflanzenanbau nicht geeignet sind. Dadurch kann eine Standortkonkurrenz mit dem Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln erst gar nicht aufkommen.

Realisierung einer Idee

Die Mikroalgen sollen also genutzt werden, um CO_2 aus Rauchgasen von Braunkohlekraftwerken unschädlich zu machen. Die Grundidee ist gut, aber für einen großtechnischen Einsatz sind vorweg zahlreiche Probleme zu lösen. Um die anfallenden Fragen gezielt klären zu können, hat das RWE renommierte Partner rekrutiert, nämlich die Jacobs Universität Bremen, das Forschungszentrum Jülich sowie das Unternehmen Phytolutions. Mit diesen Kooperationspartnern wurde ein Pilotprojekt gestartet: Rauchgase aus dem Kraftwerk Niederaußem werden zu einer in der Nachbarschaft errichteten Algenproduktionsanlage geleitet, in der das CO_2 in Biomasse umgesetzt wird. Neben der Entwicklung eines Verfahrens zur CO_2-Eliminierung durch Algen soll erforscht werden,

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

Abb. 2: Die Fotobioreaktoren: Transparente, mit Algensuspension gefüllte Plastikschläuche.

inwieweit eine energetische wie stoffliche Nutzung der Algen möglich ist, zum Beispiel für Bau- oder Treibstoffe.

Die Pilotanlage

Das Rauchgas wird einem Kraftwerksblock nach der Passage einer Rauchgasentschwefelungsanlage (REA) in einem Zustand entnommen, in dem es normalerweise an die Umgebung abgegeben wird. Durch eine Rohrleitung gelangt es zur Algenproduktionsanlage. Das im Rauchgas enthaltene CO_2 wird in der Algensuspension gelöst und von den Algen zur Fotosynthese und damit zu ihrem Wachstum entnommen (Abb. 3).
Die Rauchgase werden zunächst außerhalb des Gewächshauses, in dem die Algenproduktionsanlage errichtet wurde, in einen so genannten Blasenreaktor eingeleitet. In ihm befindet sich eine Algensuspension. Die Rauchgase vermischen sich mit der Suspension, wobei diese bis zum Sättigungsgrad CO_2 aus dem Rauchgas aufnimmt.

Die CO_2-angereicherte Algensuspension wird dann ins Gewächshaus und hier in Fotobioreaktoren geleitetet (Abb. 2). Diese bestehen aus transparenten Kunststoffschläuchen, die in V-Form an Trägern befestigt sind (Abb. 4). Das Gewächshaus dient zur Optimierung der Kulturbedingungen, denn hier können relativ leicht konstante Temperatur- sowie optimale Licht- und Nährstoffbedingungen zur Gewährleistung hoher Wachstumsraten der Algen eingestellt

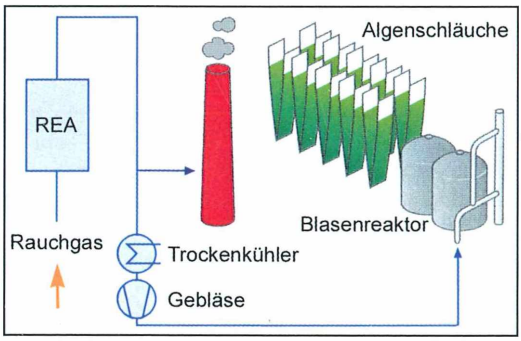


Abb. 3: Schematische Darstellung der Pilotanlage. REA Rauchgasentschwefelungsanlage.

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

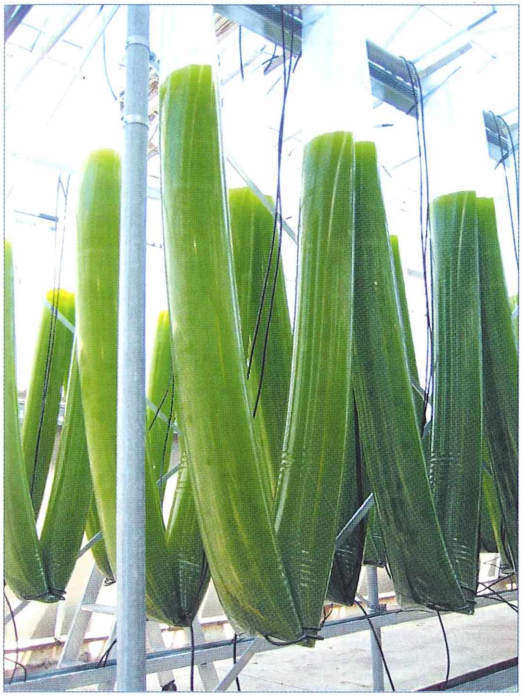


Abb. 4: V-förmig angeordnete Kulturschläuche.

werden. Die benötigte Wärme wird Klima schonend aus bislang nicht genutzter Kühlturmabwärme des Kraftwerks zur Verfügung gestellt. Die erste Ausbaustufe der rund 52 m^3 Algensuspension beinhaltenden Fotobioreaktoren ist zurzeit auf 600 m^2 untergebracht.

Wenn dann alles läuft . . .

In den transparenten Fotobioreaktoren bekommen die Algen problemlos genügend Licht. Das für die Fotosynthese benötigte CO_2 wird von den Mikroalgen aus der Suspension gelöst und aufgenommen – und somit für die Umwelt unschädlich gemacht. Damit die Algen gleichmäßig Licht erhalten, wird in den Fotoreaktoren für Durchmischung in der Art gesorgt, dass von unten Luft eingeleitet wird, welche durch die Algensuspension perlt.
Der pH-Wert der Suspension dient als Indikator für den CO_2-Gehalt. Er wird kontinuierlich gemessen und für die Steuerung der Zufuhr von CO_2-angereicherter Suspension aus dem Blasenreaktor eingesetzt. Der Anteil der Algen in den Plastikreaktoren wird durch Messungen der optischen Dichte der Suspension ermittelt. Ist sie ausreichend hoch, wird sie statt in den Blasenreaktor in einen Erntebehälter geleitet. Die Algen werden von der Nährlösung separiert und stehen nun in Form einer pastösen Masse bereit für Weiterverarbeitungen.
Mit der Anlage können pro Jahr bis zu 6.000 Kilogramm Algen (Trockensubstanz) produziert werden. Dadurch werden 12.000 Kilogramm CO_2 gebunden.

Zukünftige Untersuchungsprogramme

Zunächst sollen die Algenwachstumsraten durch unterschiedliche Algenkulturen, optimierte Kulturbedingungen und verbesserte Gewächshaustechnik gesteigert werden. Die gesamte Prozessführung soll natürlich mit einem möglichst geringen Energiebedarf erfolgen.
Ein wesentlicher Schwerpunkt weiterer Arbeiten ist die Entwicklung von Konzepten zur Konvertierung der nach der CO_2-Eliminierung anfallenden Algen in energetisch nutzbare Produkte. Unter anderem wird an einen Einsatz der Algenmassen in Biogasanlagen gedacht. Ein besonders innovativer Ansatz ist in Versuchen zu sehen, mit den Algen eine so genannte hydrothermale Karbonisierung vorzunehmen. Hierbei wird Biomasse unter Zugabe von Wasser und unter Sauerstoffabschluss unter Druck erhitzt, um unterschiedliche Kohlenwasserstoffprodukte zu erhalten, die ihrerseits die Grundlage für spezielle Produkte sind.
Die Vergärbarkeit der Algen soll im Rahmen einer gesonderten Studie untersucht werden. Dabei stehen die Ermittlung des maximalen Gasertrags, der Einfluss des Salzgehalts der Algen-Kulturlösung, der Einsatz von Co-Substraten sowie die Notwendigkeit spezieller Vorbehandlungen der Algen im Fokus der Forschung.
Natürlich hat man als Fernziel auch die Umwandlung der Algenbiomasse in Biodiesel, Butanol und ähnliche Produkte im Auge. Aber bis dahin muss wohl noch ein langer Weg gegangen werden.

Dieser Bericht belegt wieder einmal, welche Tore zunächst eher belanglos, bestenfalls amüsant erscheinende Hinweise zu öffnen in der Lage sind.

Dank

Das RWE stellte dankenswerterweise das Abbildungsmaterial zur Verfügung.

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

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

Mikro-Lyrik

Mikroskopie in der „Magie der lebenden Zelle"

Einsendungen zur Rubrik Mikro-Lyrik treffen relativ selten in der Redaktion ein. Daher ist es besonders erfreulich, wenn es dann wieder einmal passiert. Diesmal war es unser langjähriger Autor Erich Lüthje aus Kiel, der beim Herumstöbern in seinen Büchern fündig wurde.

Er schreibt uns: *Auch als aufmerksamer Leser stoße ich nur selten auf mikrolyrische Passagen bei meiner Lektüre. Umso erfreulicher, wenn wieder einmal ein Fang ins Netz gerät. So fand ich in K. A. Schenzigers Roman „Magie der lebenden Zelle" (Wilhelm Andermann Verlag, München 1957; im Bertelsmann Lesering 1959) einige Abschnitte, die einem Mikroskopiker das Herz höher schlagen lassen – nicht unbedingt ihrer literarischen Qualität wegen, aber doch auf Grund der Hingabe, mit welcher der Erzähler von der Mikroskopie berichtet.*

Hier ein stark geraffter Ausschnitt über Leben und Werk des niederländischen Hygienikers Dr. Christiaan Eijkman (1858–1930). Dieser erkannte die Erkrankung Beriberi als Folge von Mangel an *neuritischem Vitamin B1*. Dafür erhielt er 1929 mit Sir F. G. Hopkins den Nobelpreis für Medizin (dtv-Lexikon, Band 4, München 1995).

Nun zum Roman:

Bei einer Sektion schnitt Eijkman im fernen Batavia mit einem Rasiermesser papierdünne Plättchen von der Oberfläche des Großhirns und streifte sie vorsichtig auf die Objektträger. Bei auffallendem Licht und mäßiger Vergrößerung betrachtete er sie. (...).

„Wie soll ich mit dieser Vergrößerung eine Mikrobe finden?" fragt ihn skeptisch sein Kollege Professor Pekelharing. „Die Vergrößerung reicht aus, um anatomische Veränderungen gröberer Feinheit, wenn ich so sagen darf, gerade noch zu erkennen!"

Zögernd setzte Professor Pekelharing sich an das Mikroskop. „Kein durchfallendes Licht!" schimpfte er. „Keine Färbung".

„Trotzdem, Professor, auch so werden Sie die kleinen Infiltrate an der Oberfläche der Rinde erkennen."

„Was haben die mit Beriberi zu tun?"

„Vielleicht nichts. Das können wir nicht wissen (...)."

Bald darauf führt der Autor die sympathische, rätselhaft erkrankte Lea Lund ein. Die junge Dame interessiert Dr. Eijkman nicht nur medizinisch, und auch sie ... Aber greifen wir nicht vor!

Dr. Eijkman saß wieder einmal über sein Mikroskop gebeugt. Diesmal trug sein Glasplättchen kein tierisches Präparat. Es trug einen menschlichen Blutausstrich. Der Blutausstrich war von Thea Lund. (...) Dr. Eijkman drehte an der Mikrometerschraube. Es war nicht das erste Blutpräparat, das er im Mikroskop untersuchte. Er kontrollierte Leas Blut schon seit Wochen. Ohne klares Bild bisher. Das Bild hätte sich schneller klären lassen, aber Dr. Eijkman wollte nicht wahrhaben, was er sah.

Offensichtlich waren es zu wenig Blutkörperchen. (...) Sooft Dr. Eijkman ein neues Präparat unter die Lupe legte, war er überzeugt, eine Besserung vorzufinden. Aber es sah jedesmal aus, als ob die Blutkörperchen noch weniger geworden wären. Er suchte bei sich den Fehler, bei seinen Instrumenten, bei seiner Untersuchungstechnik.

Er wechselte die Färbemethoden, und schließlich nahm er immer höhere Grade der Vergrößerung. Dr. Eijkman hatte die achthundertfache Vergrößerung eingestellt. Er drehte an der Mikrometerschraube. Er sah die mannigfachsten Gebilde: Neben den normalen kreisrunden Blutkörperchen lagen halbmondförmige Formen. Auch die Farbe war ganz verschieden.

Merkwürdig!

Wo hatte er darüber etwas gelesen? Während er noch den Objektträger hin und her verschob und immer wieder auf die einzelnen Stellen scharf einstellte, fiel ihm der Name Biermer ein, und ein kühles Gefühl schlich ihm den Rücken herauf. Entsetzt sprang er hoch." (...)

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

In immer kürzeren Abständen untersucht er jetzt Theas Blut. Sollte die Biermer'sche Krankheit, also Knochenmarkversagen, für den fortschreitenden Mangel an roten Blutkörperchen verantwortlich sein? Eijkman hofft, dass deren Anzahl mit der Zeit wieder zunehmen werde ...

Sie nahmen nicht zu. Sie wurden weniger. Die Zwischenformen wurden mehr. Mit einem Griff feuerte er das Mikroskop in die Ecke. Schon der Krach des berstenden Instruments brachte ihn wieder zur Besinnung. (...)
Dr. Eijkman sah auch weiterhin durch das Mikroskop. Das Instrument war unerbittlich. Die Blutkörperchen wurden immer weniger. Lea wurde immer müder und immer glücklicher. Ihre Hand in der seinen, erlosch sie, eine Lampe mit dem letzten Tropfen Öl. (...) Mit dem Messer öffnete Dr. Eijkman das erkaltete Herz, das so heiß für ihn geschlagen hatte. Der Sektionsbefund war ohne Besonderheit.

Ob der nachmalige Nobelpreisträger wirklich sein Mikroskop in die Ecke gefeuert hat? Wieviel verstand der Autor selbst von der Mikroskopie? Welchen Lesererwartungen von spannender Forschung am Mikroskop glaubte er entsprechen zu müssen?

Anerkennenswert ist fraglos der Unterhaltungswert dieses pathetisch-mitreißenden Schmökers, und damit mag er ja auch seinen höheren Zweck bereits erfüllt haben.

Aus der Industrie

Thüringer Innovationspreis für Carl Zeiss

Das Laser Scanning Mikroskop LSM 710 von Carl Zeiss hat den Innovationspreis des Landes Thüringen 2008 gewonnen, der in diesem Jahr in der Kategorie Produkte zweimal vergeben wurde. Der vom Wirtschaftsministerium des Landes für herausragende technische Neuentwicklungen verliehene Preis wurde am 5. November auf dem Thüringer Innovationstag in Erfurt in der Kategorie Produkte an Carl Zeiss für das LSM 710 sowie die KTS Kunststoff Technik Schmölln GmbH für das Radreifen-SystemCSEasy überreicht.

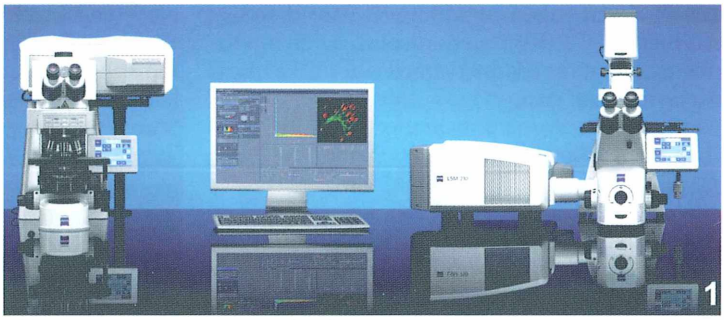


Abb. 1: Das Laser Scanning Mikroskop LSM 710 von Carl Zeiss wurde mit dem Thüringer Innovationspreis 2008 ausgezeichnet.

Carl Zeiss setzt mit dem Laser Scanning Mikroskop LSM 710 neue Maßstäbe bei der Untersuchung fluoreszierender Proben in der Biologie und Biomedizin. Die technischen Innovationen des LSM 710 bieten neue Möglichkeiten in der Forschung mit lebenden und mehrfach markierten Zellen, die eine besondere Bedeutung für das Verstehen von Krankheiten haben. Mit höherer Bildqualität, verbesserter Flexibilität bei Experimenten sowie neuen optischen und technischen Details kann das System allen Bereichen der biologischen Forschung neue Impulse geben. Gleichzeitig zeichnet sich das LSM 710 durch eine einzigartige Präzision bei deutlich vereinfachter Bedienung aus. Fluoreszenzmikroskopie mit dem LSM 710 wird durch den Einsatz zahlreicher innovativer technologischer Lösungen im Optikdesign, im Elektronikkonzept und der Software-Architektur noch effizienter, einfacher und schneller. Die herausragende Empfindlichkeit des Systems liefert auch bei anspruchsvollen Präparaten wie dicken lebenden Gewebeproben detailgenaue und kontrastreiche Bilder. Das neue Beleuchtungs- und Detektionsdesign des Systems bietet absolute Freiheit in der Auswahl und simultanen Abbildung von bis zu zehn Fluoreszenzsignalen.

Carl Zeiss hat damit den Innovationspreis des Landes Thüringen bereits zum vierten Mal gewonnen: 2000 für den IOLMaster, ein Präzisionsgerät für die Augenvermessung, 2002 für das Laser Scanning Mikroskop LSM 510 und 2007 für Phame, ein Messsystem für die Halbleitertechnik.

Nähere Informationen:
Carl Zeiss MicroImaging GmbH,
Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena,
Tel.: 0 36 41/64 27 70,
Internet: www.zeiss.de

Redaktion MIKROKOSMOS

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

Einzeller im Zusammenleben mit Vielzellern Teil 1: Symphorismus, Kommensalismus und Parasitismus

Klaus Hausmann und Renate Radek

Der biologische Fachterminus Synökie beinhaltet im weitesten Sinne, dass jeder Organismus mit seiner Umwelt in komplizierten Wechselwirkungen steht. Man kennt verschiedene Ausprägungen von Wechselbeziehungen zwischen Organismen, so zum Beispiel Symphorismus, Kommensalismus, Symbiose (= Mutualismus) und Parasitismus. Diese Wechselbeziehungen bestehen zwischen Einzellern und Einzellern, Vielzellern und Vielzellern, aber auch zwischen Einzellern und Vielzellern. Um diese letzte Variante organismischen Zusammenlebens wird es in dieser dreiteiligen Serie gehen. Der erste Teil beschäftigt sich mit Symphorismus und Kommensalismus sowie mit Parasitismus. Die Teile 2 und 3 werden sich der Symbiose am Beispiel von Termitenflagellaten und Pansenciliaten widmen.

Die Interaktion zwischen Protozoen und Metazoen kann – wie auch bei den anderen oben erwähnten Paarungen – wertneutral (Kommensalismus, Symphorismus), negativ (Parasitismus) oder aber positiv (Symbiose) sein.

Symphorismus

Aus der entsprechenden Literatur (z.B. Görtz, 1988; Matthes, 1978) erfährt man, dass es viele Tierarten gibt, die – wie die auf anderen Pflanzen lebenden Epiphyten – als so genannte Epizoen auf anderen Tieren leben, ohne Parasiten zu sein. Diese Erscheinung wird in der Tierwelt, wenn es sich um eine dauerhafte Besiedlung handelt, Symphorismus genannt, Phoresie, wenn eher eine vorübergehende Beziehung vorliegt. Das bedeutet, dass ein Transportwirt (Phorent) einem Gast (Phoret) eine Möglichkeit bietet, ohne eigene Energie aufzuwenden, von hier nach dort gebracht zu werden (Schneider et al., 1996) (Abb. 1). Normalerweise hat das lebende Taxi davon weder Nutzen noch Schaden, es sei denn, die Besatzung nimmt derartige Ausmaße an, dass der Träger in seiner Bewegung gehemmt wird, was durchaus hin und wieder eintreten kann.

Bisweilen bevorzugen die Symphorionten sogar ganz bestimmte Körperstellen des Trägers (Abb. 2). Vom Wasserkäfer *Helochares* (Hydrophilidae) weiß man, dass er von neun verschiedenen peritrichen Ciliatenarten besiedelt wird, die jeweils exklusiv bestimmte Körperareale bevölkern: Körperober- und unterseite, Körperflanken, Augenwinkel, Mundwerkzeuge, Fühler, Labialpalpen oder Schenkelenden der Beine. Somit werden sie untereinander kaum zu ernst-

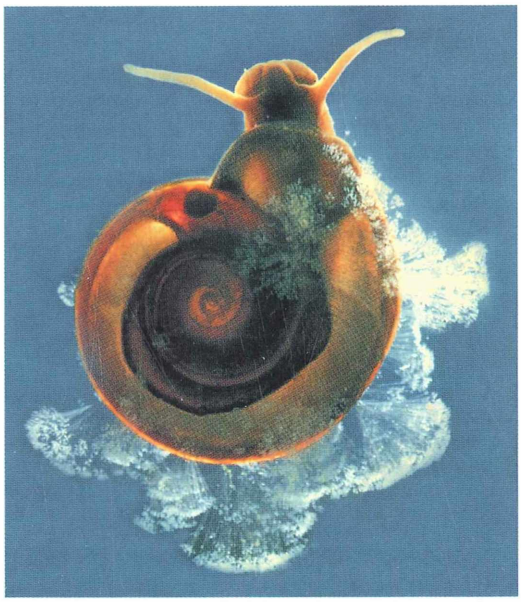


Abb. 1: Wasserschnecke mit Ciliatenaufwuchs (aus Schneider et al., 1996).

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

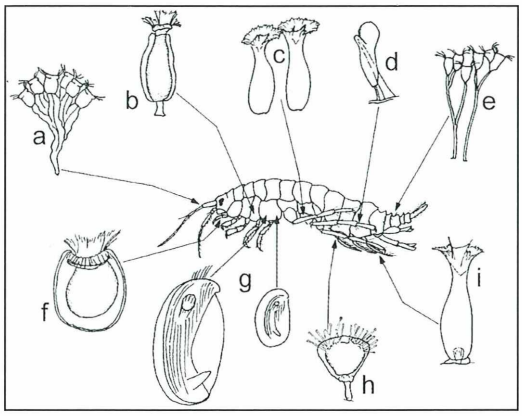


Abb. 2: Ciliaten ganz unterschiedlicher Taxa finden sich auf verschiedenen Körperbereichen des Flohkrebses *Gammarus locusta*: a und e *Zoothamnium*, b *Cothurnia*, c und i *Heliochona*, d *Conidiophrys*, f *Lagenophrys*, g *Trochilioides*, h *Acineta* (aus Fenchel, 1965).

haften Futterkonkurrenten (Görtz, 1996). Die Frage, wie die Trägerfindung sowie die räumliche Verteilung vonstatten gehen, kann man derzeit nur mit einem Achselzucken beantworten.

Es handelt sich bei den Aufsitzern meist um filtrierende oder mit Hilfe von Fangtentakeln sich ernährende Tiere, Einzeller wie Vielzeller. Unter den Einzellern findet man in erster Linie Ciliaten. In bestimmten Fällen haben diese Einzeller ihre Wirte sogar beim Übergang zum Landleben begleitet. So lebt zwischen den stets feucht gehaltenen Hinterleibsbeinen verschiedener Landasseln eine bemerkenswerte Protozoenfauna.

Man kann eigentlich nur verblüfft sein, wenn man beispielsweise Wasserflöhe sichtet, die über und über mit gestielten, peritrichen Ciliaten besetzt sind. Man würde spontan denken, dass es nicht möglich sein kann, dass auf einem solch agilen Organismus wie einer Daphnie Ciliaten Halt finden. Die Naturbeobachtung belehrt uns eines Besseren (Hausmann und Rambow, 1985): Es ist sehr wohl möglich (Abb. 3).

Hat man dieses akzeptiert, wird es einen nicht mehr wundern, dass auch auf solch schnell sich fortbewegenden Tieren wie Polychaeten (vielborstige Würmer) gestielte Ciliaten zu finden sind (Abb. 4), sogar auf den der Fortbewegung dienenden, äußerst agilen, so genannten Parapodien (Hausmann, 1980). Berichte, dass unter anderem Suktorien in so riesiger Zahl auf Molchen gefunden wurden, dass man sie gar mit bloßem Auge sichten konnte (Bode, 1951/52), wird man nach diesen Erfahrungen schließlich nur noch kommentarlos zur Kenntnis nehmen.

Kommensalismus

Rückt der Getragene mehr und mehr in die Mundregionen des Tägers vor, wird er bald zum Mitesser, zum Kommensalen. Er partizipiert von dem, was sich der in der Regel größere Träger als Nahrung heranangelt, und sei es zunächst nur ein Teil der Bakterien, welche herangestrudelt wurden. Bei einer etwas großzügiger erfolgenden Nahrungsaufnahme (sloppy feeding) seitens des Trägers fallen vielfach auch größere Brocken an, die gerne von den beteiligten Getragenen als Futter genutzt werden.

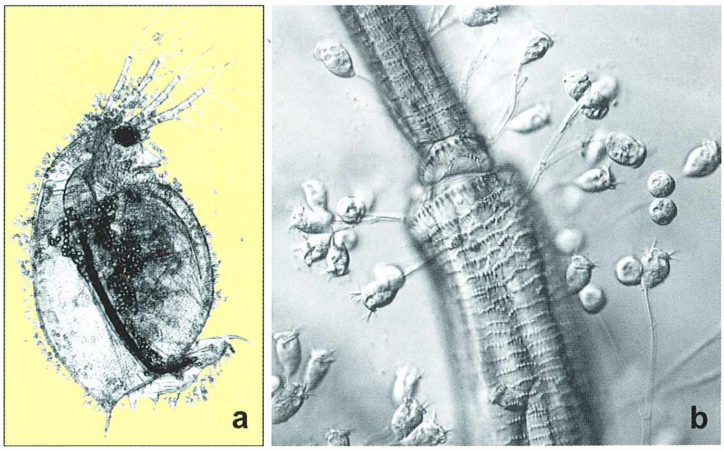


Abb. 3: Eine mit zahlreichen Glockentierchen besetzte Daphnie (a). Auch die der Fortbewegung dienenden Antennen sind stark besiedelt (b) (aus Hausmann und Rambow, 1985).

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

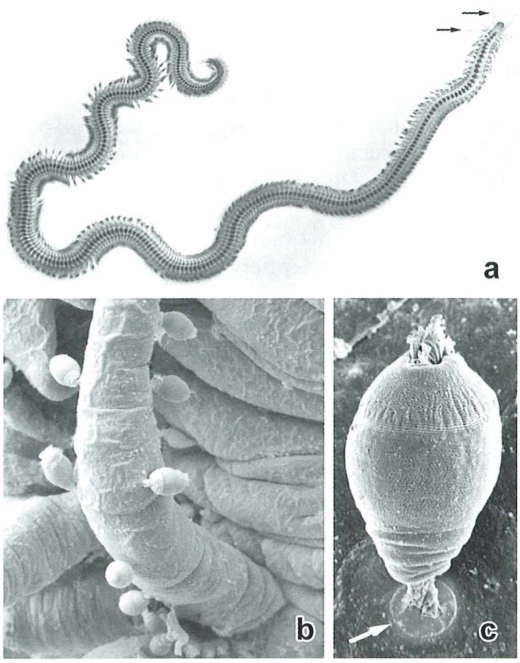


Abb. 4: Erst bei stärkerer Vergrößerung erkennt man, dass die der Fortbewegung dienenden Parapodien sowie die Kopftentakel (a, Pfeile) des sich flink bewegenden Borstenwurms *Anaitides mucosa* mit sessilen Ciliaten besetzt sind (b). Mit Hilfe einer Haftscheibe (c, Pfeil) sind die zu den Epistyliden gehörenden Wimpertiere auf dem Polychaeten festgeheftet (aus Hausmann, 1980).

Der Übergang vom Leben auf einem Organismus zur Etablierung innerhalb eines Trägers ist of fließend. Man kann sich gut vorstellen, dass Arten, die beispielsweise bevorzugt die Mundwerkzeuge von Wasserinsekten besiedeln und dort als harmlose Kommensalen mit von der Partie sind, auch den Weg in die Mundhöhle finden. Von dort ist es nicht weit bis in den Magen-Darm-Trakt. Einmal bis hierher vorgedrungen, konnten sich allerdings zunächst harmlose Mitbewohner in für den Wirt gefährliche Parasiten entwickeln.

Parasitismus

Beim Stichwort Parasitismus fällt einem wahrscheinlich sofort eine Liste von durch Einzeller verursachte Krankheiten ein, bei denen in der Regel der Vielzeller – Mensch wie Tier – mehr oder minder schnell den Kürzeren zieht: Amöben-Dysenterie, Balantidienruhr, Chagas-Krankheit, Coccidiosen, Cryptosporidiose, Keratitis, Lamblienruhr, Leishmaniose, Malaria, Meningoencephalitis, Mikrosporidiosen, Orientbeule, Piroplasmosen, Schlafkrankheit, Toxoplasmose, Trichomonose. Die Erregerorganismen, welche derartige Erkrankungen verursachen, gehören allen bekannten Einzellergruppen an, nämlich Amöben, Flagellaten, Ciliaten und Sporozoen. Sie sind vielfach zur Aufrechterhaltung ihrer oft mehrwirtigen Le-

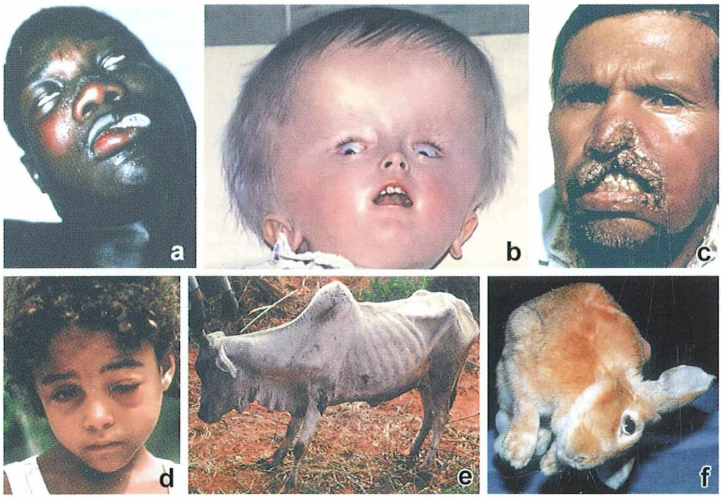


Abb. 5: Durch einzellige Parasiten verursachte Krankheiten: a Schlafkrankheit; Erreger: *Trypanosoma brucei rhodesiense* (Flagellat). b Congenitale Toxoplasmose, Hydrocephalus; Erreger: *Toxoplasma gondii* (Sporentier). c Mucocutane Leishmaniasis; Erreger: *Leishmania braziliensis* (Flagellat). d Chagas-Krankheit, Romana-Zeichen (Lid-Ödem) nach einer frischen Infektion; Erreger: *Trypanosoma cruzi* (Flagellat). e Nagana-Seuche bei Rindern; Erreger: *Trypanosoma brucei brucei* (Flagellat). f Kopfschiefhaltung beim Kaninchen; Erreger: *Encephalitozoon cuniculi* (Mikrosporidie) (nach verschiedenen Autoren).

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

benszyklen auf spezielle Überträger – meistens Insekten – angewiesen. In unseren Breiten spielt die Vielzahl dieser Parasitosen eher eine untergeordnete Rolle, da in der Regel die notwendigen Überträger auf Grund unserer klimatischen Verhältnisse hier nicht existieren können.

Die im europäischen Raum relativ wenigen durch Protozoen verursachten, seuchenartig aufgetretenen Krankheiten sind mehr oder minder in Vergessenheit geraten. Wer weiß schon, dass in der Zeit von 1758 bis 1869, als Wilhelmshaven zu einem bedeutenden Marinehafen ausgebaut wurde, in diesem Gebiet 17.810 Menschen von der Malaria hingerafft wurden? Wem ist schon bekannt, dass mit der Butjadinger Seuche (= Marschenfieber), der um 1806 etliche hundert Menschen zum Opfer fielen, eine Malarie-Epidemie gemeint ist. Es ist wahrscheinlich auch in Vergessenheit geraten, dass Norditalien lange ein gefürchtetes Sympffieber-Gebiet (Mala Aria = schlechte Luft) war. Es dauerte immerhin bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts, dass hauptsächlich durch groß angelegte Trockenlegungen von Sümpfen in der nördlichen Mittelmeer-Region die Lebensräume der Überträgerorganismen zerstört wurden, wodurch der Malaria Einhalt geboten wurde.

Das sind aber für unsere Klimate eher Ausnahmen. Wie das Krankheitsbild der beispielsweise durch Flagellaten verursachten Schlafkrankheit tatsächlich aussieht, ist uns unbekannt (Abb. 5a), genauso wie beispielsweise das der mucocutanen Leishmaniasis (Abb. 5c). Man könnte an dieser Stelle eine Reihe weiterer Krankheitsbilder illustrieren, die uns aber mit einiger Wahrscheinlichkeit zunächst wohl schockieren, dann aber relativ unberührt ließen, da wir in

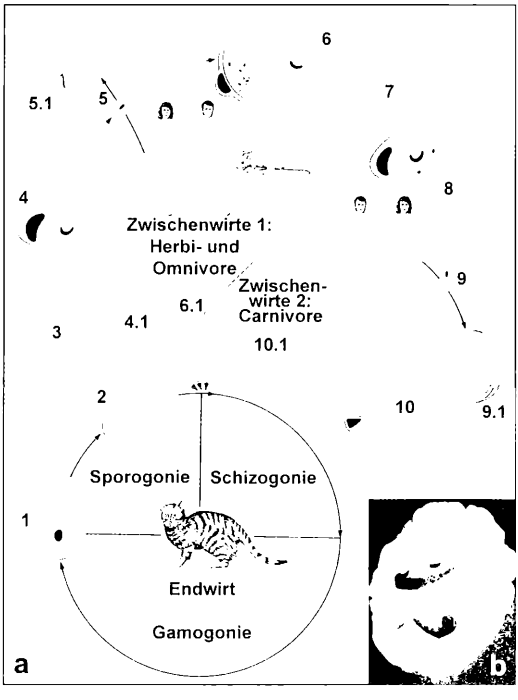


Abb. 6: a *Toxoplasma gondii*. Lebenszyklus mit einem Feliden, zum Beispiel einer Katze, als Endwirt und einem Alles- oder Fleischfresser (Omni-, Carnivoren), zum Beispiel einer Maus, als Zwischenwirt. Der typische Coccidienzyklus mit Sporogonie, Schizogonie und Gamogonie läuft im Darmepithel der Feliden ab, die sich durch Oozysten (2) oder Gewebecysten (6, 10) infizieren. 1–10 Lebenszyklus. 1–2 Oocysten werden von der Katze unsporuliert (1) mit den Fäzes ausgeschieden; im Freien erfolgt dann die Sporulation: Bildung von zwei Sporocysten mit je vier Sporozoiten (2). 3–10 Die der Verbreitung dienenden Infektionswege bei Zwischenwirten. 3 Nach oraler Aufnahme von Oocysten werden die Sporozoiten im Darm von Herbi- oder Omnivoren (Zwischenwirte 1) freigesetzt und verlassen diesen in die umgebenden Gewebe. 4 Sporozoiten dringen in eine Vielzahl verschiedener Zellen ein. Hier erfolgt eine starke Vermehrung; es entstehen Pseudocysten. 5–6 Nach einiger Zeit kommt es zur Bildung von Gewebecysten in Gehirn- und Muskelzellen der Zwischenwirte. In den Cysten entstehen zahlreiche Merozoiten, die – wie die Sporozoiten – übertragungsfähig sind. Sie entwickeln sich entweder zu einem Schizonten, wenn sie oral von der Katze (z. B. durch Verzehr einer infizierten Maus) aufgenommen werden (6.1) oder vermehren sich erneut über Pseudocysten, falls sie von einem anderen Fleischfresser verzehrt werden (7). 8–10 Im Fleischfresser (Zwischenwirt 2) erfolgt nach oraler Aufnahme von Pseudo- oder Gewebecysten die Bildung von weiteren Gewebecysten (10.1). Diese sind wiederum für Katzen infektiös. Beim Menschen als Zwischenwirt (Fehlwirt) kann, wenn eine Schwangerschaft vorliegt, eine diaplazentale Übertragung des Parasiten auf den Fötus erfolgen (5.1, 9.1), was dann zu dramatischen Missbildungen führen kann (b): Schnitt durch ein Hydrocephalus-Hirn mit deutlich vergrößerten Ventrikeln (a aus Mehlhorn, 2002; b aus Lucius und Loos-Frank, 2008).

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

unserem Alltag damit nicht konfrontiert werden.

Wenn bei uns Erkrankungen wie Malaria oder Amöben- und Lamblienruhr wieder etwas mehr in den Fokus des Interesses rücken, hängt dies primär mit dem heutigen weltweiten Tourismus zusammen. Vielfach – speziell bei den Last-Minute-Reisen – wird nicht die angesagte medikamentöse Prophylaxe betrieben, so dass nicht selten Urlauber, wenn sie in die Heimat zurückkehren, zunächst einmal beispielsweise eine Malaria-Infektion bekämpfen müssen. Das sind aber eher kuriose Einzelfälle, die in keiner Weise mit der Situation in den Ursprungsländern verglichen werden können, in denen die Zahl der infizierten Menschen und die daraus resultierenden jährlichen Todesfälle in Millionen angegeben werden muss.

Die durch Sporozoen (Coccidien, Apicomplexa) verursachte pränatale Toxoplasmose sollte in unseren Breitengraden jedoch durchaus ein Begriff sein. Aber weiß man wirklich, was ein durch diese Sporozoen verursachter Wasserkopf (Hydrocephalus) bedeutet (Abb. 5b)? Ist es jedem klar, was es bedeutet, wenn von Gehirnverkalkungen die Rede ist, die während der Embryonalentwicklung eingetreten sind? Ist jedem bewusst, dass der Mensch im Lebenszyklus dieses Parasiten, dessen natürlicher Endwirt die Katze ist, eine Sackgasse darstellt (Abb. 6a)? Denn um den Kreislauf zu schließen, müsste beispielsweise das mit Gewebecysten infizierte Muskelgewebe eines Menschen von einer Katze gefressen werden, was wohl so gut wie nie eintreten dürfte.

Ungeachtet dass dieser Weg zum Mensch für den Parasiten bedeutungslos ist, birgt diese Fehlentwicklung fatalerweise für den Menschen ein sehr großes Risiko, da der Parasit, wenn während einer Schwangerschaft eine Erstinfektion vorliegt, über die Plazenta (diaplazental) auf den Fötus übergehen und dort die dramatischen Missbildungen am Gehirn verursachen kann (Abb. 6b).

An Hand der aufgeführten Beispiele ist illustriert worden, wie fließend die Übergänge zwischen einem absolut wertneutralen Zusammenleben bis hin zum Parasitismus sein können. Die beiden folgenden Artikel werden sich mit Lebensgemeinschaften beschäftigen, bei denen ganz klar beide (oder gar mehrere) Partner einen Vorteil daraus ziehen, miteinander zu leben. Es handelt sich dabei zweifelsfrei um Symbiosen.

Literaturhinweise

Aspöck, H. (Hrsg.): Amöben, Bandwürmer, Zecken … – Parasiten und parasitäre Erkrankungen des Menschen in Mitteleuropa. Denisia 6, 1–600 (2002).

Bode, F.: Einige Beispiele zur „Vergesellschaftung" mikroskopischer Lebensformen. Mikrokosmos 41, 12–16 (1951/52).

Dönges, J.: Parasitologie – Mit besonderer Berücksichtigung humanpathogener Formen, 2. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1988.

Eckert, J., Friedhoff, K. T., Zahner, H., Deplazes, P.: Lehrbuch der Parasitologie für die Tiermedizin. Enke Verlag, Stuttgart 2005.

Fenchel, T.: On the ciliate fauna associated with the marine species of the amphipod genus *Gammarus* JG Fabricius. Ophelia 2, 281–303 (1965).

Görtz, H.-D.: Formen des Zusammenlebens – Symbiose, Parasitismus und andere Vergesellschaftungen von Tieren. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 1988.

Görtz, H.-D.: Symbiosis in ciliates. In: Hausmann, K., Bradbury, P. C. (Eds.): Ciliates – cells as organisms, p. 441–462. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1996.

Hausmann, K.: Sessile Ciliaten auf Borstenwürmern. Mikrokosmos 69, 156–159 (1980).

Hausmann, K., Rambow, C.: Pelzige Wasserflöhe. Mikrokosmos 74, 208–214 (1985).

Lucius, R., Loos-Frank, B.: Biologie von Parasiten, 2. Auflage. Springer Verlag, Heidelberg 2008.

Matthes, D.: Tiersymbiosen und ähnliche Formen der Vergesellschaftung. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1978.

Matthes, D.: Tierische Parasiten – Biologie und Ökologie. Vieweg, Braunschweig 1988.

Mehlhorn, H. (Eds.): Parasitology in focus. Springer Verlag, Heidelberg 1988.

Mehlhorn, H., Piekarski, G.: Grundriß der Parasitenkunde, 6. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2002.

Rommel, M., Eckert, J., Kutzer, E., Körting, W., Schnieder, T.: Veterinärmedizinische Parasitologie, 5. Auflage. Parey Verlag, Berlin 2000.

Salfelder, K.: Protozoan infections in man – Colour atlas. Schwer Verlag, Stuttgart 1988.

Schneider, H., Kremer, B. P., Hausmann, K.: Aquatische Kleinsttiergärten – Aufwuchsbiozönosen als autökologisches Kuriositätenkabinett. BiuZ 26, 173–178 (1996).

Wenk, P., Renz., A.: Parasitologie – Biologie der Humanparasiten. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2003.

Zander, C. D.: Parasit-Wirt-Beziehungen – Einführung in die ökologische Parasitologie. Springer Verlag, Heidelberg 1998.

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

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

Der Fichtennadelblasenrost Chrysomyxa rhododendri – Untersuchungen an Nadelquerschnitten

André Advocat und Klaus Herrmann

Rostpilze sind makroskopisch nur durch die auffälligen Gewebeveränderungen auszumachen, die sie als Schmarotzer auf ihren Wirtspflanzen bewirken. Mikroskopisch sind sie oft lohnende Objekte und so ist es nicht verwunderlich, dass ihnen im MIKROKOSMOS schon einige Beiträge gewidmet wurden (Richter, 1991; Kothe, 1989, 1990). Dieser Beitrag bringt mit gefärbten Dünnschnitten eine Erweiterung schon bekannter Ergebnisse aus früheren Untersuchungen.

Gerade diese auffälligen Veränderungen haben die Aufmerksamkeit eines der Autoren (André Advocat) erregt, als er im September 2008 in den Schweizer Alpen beim Abstieg vom Sustenpass, Kanton Uri, einen Fichtenbestand bemerkte, der eigenartig gelbe Nadel trug (Abb. 1). Der passionierte Mikroskopiker hat natürlich auch auf einer Bergtour in seinem Rucksack Platz für eine Lupe und ein paar Probenbeutel. Die Lupenuntersuchung vor Ort hat ihn überzeugt, dass es sich lohnen würde, eine Probe zu nehmen.

Untersuchung unter dem Stereomikroskop

Ein erster Blick durchs Stereomikroskop hat zu einem langen Mikroskopierabend geführt (Abb. 2). Weitere Detailaufnahmen (Abb. 3) bestätigten die ursprüngliche Vermutung, dass es sich hier um einen Rostpilz handeln muss. Die Sporen zeigen im Durchlichtmikroskop eine warzige Oberfläche und ihre gelbe Farbe passt zur allgemeinen Bezeichnung „Rost" (Abb. 4).

Bestimmungsversuche

Zwar sind etwa 5.000 Rostpilzarten (Urediniomycetes) bekannt, aber das weite Feld lässt sich durch den Wirt und einige charakteristische Merkmale schon gezielt einschränken.
Bedauerlicherweise war eine zielführende Quelle für Franzosen eher schwer zugänglich: Im MIKROKOSMOS war Benno Richters Beitrag von der Mikroskopischen Gesellschaft Zürich

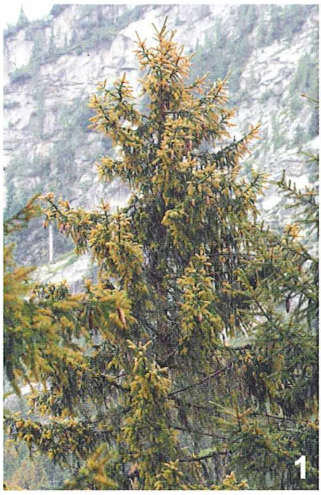
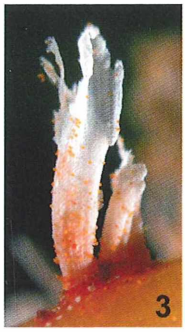


Abb. 1: Befallene Fichte am Sustenpass, Kanton Uri Schweiz. – Abb. 2: Zweig mit gelben Nadeln und Pseudoperidien.

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



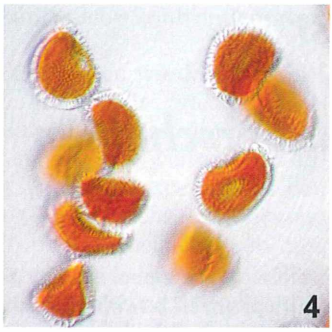


Abb. 3: Nadel mit den weißen Pseudoperidien, auf denen gelbe Aecidosporen sitzen. – Abb. 4: Aecidosporen, ca. 23 × 20 µm, durch Carotinoide gelb gefärbt.

erschienen, der genau diesen Pilz zum Thema hatte (1991). Doch die Internetrecherche führte zu einer in Französisch erschienen Veröffentlichung der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL in Birmersdorf bei Zürich mit dem Titel *Rostpilze an Fichten* (Nierhaus-Wunderwald, 2002). In diesem *Merkblatt für die Praxis*, das in Deutsch und Französisch erhältlich ist, hat die Autorin Frau Dr. Dagmar Nierhaus-Wunderwald einen sorgfältig recherchierten Überblick über die bei uns bekannten Rostpilze an Nadelbäumen und ihren Wechselwirten, den Ericaceen, gegeben. Obwohl das Hauptanliegen des Instituts die forstwirtschaftlichen Belange sind, geht die Veröffentlichung ins wissenschaftliche Detail, ohne dass die Lesbarkeit darunter leidet. In den 35 Literaturzitaten taucht auch Benno Richters Beitrag auf unter dem Titel: *Der Alpenrosenrost – ein interessanter Vertreter der Rostpilze*. Mit diesem Titel hätte man natürlich ohne Hintergrundwissen auch nicht auf den Fichtenrost kommen können! Es lohnt sich den Artikel allein schon wegen der sehr informativen rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen der Aecidienlager durchzuarbeiten. Mit diesen Bildern und der detaillierten Beschreibung im Merkblatt war eine sichere Bestimmung möglich, die letztendlich durch Frau Nierhaus-Wunderwald anhand unserer Bilder bestätigt wurde.

Es ist *Chrysomyxa rhododendri*, ein Rostpilz, der sehr wirtsspezifisch zwischen seinem Hauptwirt, der Alpenrose – der Rostblättrigen Alpenrose (*Rhododendron ferruggineum*) und der Bewimperten Alpenrose (*Rhododendron hirsutum*) – und dem Sekundärwirt, der Fichte (*Picea abies*), wechselt. Fünf weitere, nicht einheimische Fichtenarten werden im Merkblatt noch zusätzlich genannt.

Diskussion der Bilder im Mikroskopieforum Le Naturaliste

André Advocat hat die Bilder mit den Rechercheergebnissen im französischen Forum zur Diskussion gestellt (Le Naturaliste, 2008). Da wir uns im deutschen Mikroskopie-Forum parallel dazu intensiv mit verschiedenen Färbungen an Nadelquerschnitten beschäftigt hatten, war es naheliegend, an diesem Objekt auch eine Untersuchung vorzunehmen, besonders deswegen, weil unsere Recherchen bislang keine Hinweise auf Bilder von Nadel-Querschnitten durch die Aecidienlager dieses Pilzes gebracht hatten.

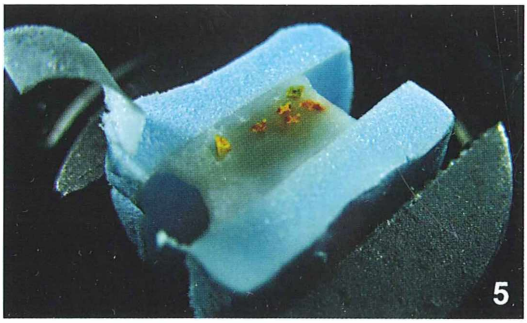


Abb. 5: Nadel in Histowachs, zum Handschnitt in Styrodur eingeklemmt. – Abb. 6: Nadelquerschnitt mit aufgerissenem Acidienlager. Färbung Etzold grün.

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

Querschnitte der befallenen Nadel mit verschiedenen Färbungen

So wurde beschlossen, ein wenig internationale Mikroskopie zu betreiben: Klaus Herrmann erhielt einen kleinen Zweig von André Advocat. Befallene Nadeln wurden nach Fixierung in AFE und Einbettung in Histowachs am Handmikrotom mit einem Einmalklingenhalter (Herrmann und Streble, 2004) geschnitten (Abb. 5). Gefärbt wurde mit einer kurz zuvor von Klaus Herrmann modifizierten Grün-Variante der bekannten Etzold'schen Trichromfärbung.

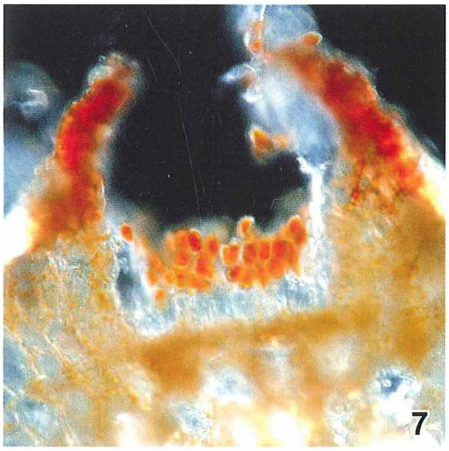
Bei einigen Schnitten waren die reifen, schon offenen Aecidienlager gut getroffen (Abb. 6). In Abbildung 7 ist ein ungefärbter Schnitt zu sehen. Hier kann man deutlich erkennen, wie die gebildeten Sporen aus dem Lager nach oben wachsen. Zum Vergleich ist in Abbildung 8 ein gefärbter Schnitt gezeigt, der zur besseren Kontrastierung in Auflichtfluoreszenz aufgenommen wurde. Die Basis des Aecidienlagers, in dem die Aecidosporen gebildet werden, wird so deutlich dunkel hervorgehoben. Der hellgrüne Untergrund kommt von der Eigenfluoreszenz des hier verwendeten Eindeckmediums Euparal. Die Lager sind alle schon aufgerissen und die Sporen treten heraus, damit sie vom Wind verfrachtet werden können, um den Kreislauf der Entwicklung durch Infektion der Blätter des Hauptwirts, der Alpenrose, wieder zu schließen.

Die Hüllen der Aecidienlager, die auf den Makroaufnahmen als weiße „Strümpfe" schön sichtbar werden, sind die Pseudoperidien (Abb. 2 und 3). Es sind die Wände der Aecidienlager, die aus den verklebten Hüllen von sterilen Aecidosporen gebildet werden. Sie haben dieselbe warzige Struktur wie die reifen Aecidosporen. Im Gegensatz zu diesen sind sie aber farblos. Die intensiv gelbe Farbe der Sporen wird durch Carotinoide verursacht (Nierhaus-Wunderwald, 2002).

Suche nach dem Mycel

Bei allen Schnitten war aber kein Mycel zu sehen, über welches sich der Schmarotzerpilz mit Nährstoffen seines Wirtes versorgt. Hier bekamen wir von Nino Santamaria, einem spanischen Teilnehmer des Forums Le Naturaliste, einen entscheidenden Hinweis: Er hatte gute Erfahrungen mit dem Fluoreszenzfarbstoff Calcofluor gemacht. Damit kann Mycel im Gewebe des Wirts selektiv angefärbt werden. Er hat uns eine Probe des Farbstoffs geschickt. Nach ersten erfolglosen Versuchen wurden durch Verlängerung der Färbedauer auf 15 Minuten beachtliche Ergebnisse erzielt (Abb. 9). Bei UV-Anregung leuchtet das Pilzmycel weißblau im gesamten Nadelquerschnitt. Die im Hellfeld scharf begrenzt erscheinenden Zellwände verschwinden hier optisch hinter der wirren Struktur des Mycels.

Abbildung 10 zeigt ein Aecidienlager, das noch nicht ganz reif ist. Die Pseudoperidien ragen schon aus der Öffnung heraus, angelegte Spo-



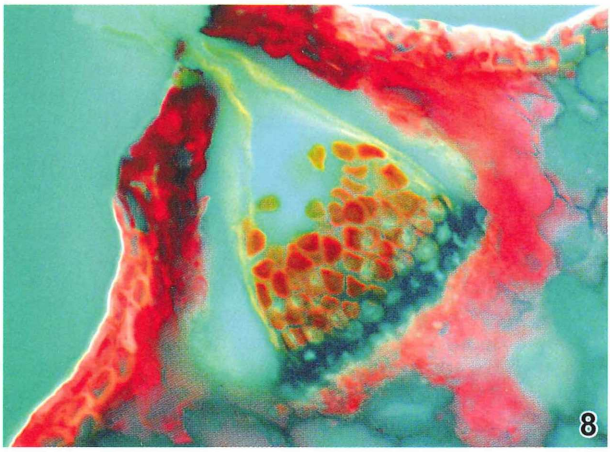
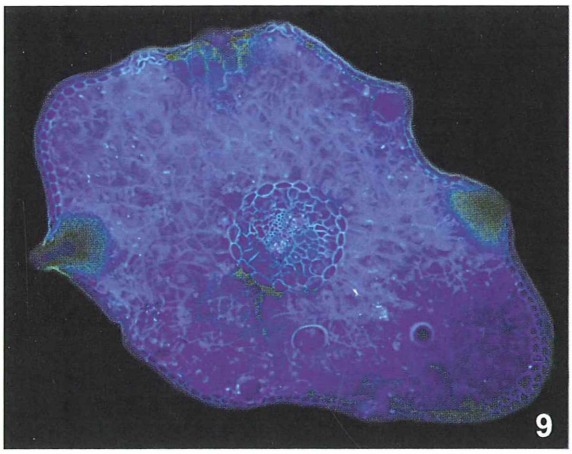


Abb. 7: Schnitt durch ein Aecidienlager. Die reifen Sporen wachsen wie Perlen aufgereiht aus dem Lager nach oben. Ungefärbt, Dunkelfeld. – Abb. 8: Gefärbter Schnitt durch ein Aecidienlager im Fluoreszenzmikroskop, Blauanregung. Die umhüllenden Pseudoperidien sind als gelbliche Fahnen zu sehen. Das Lager ist dunkel abgesetzt; aus diesem heraus wachsen die Sporen.

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



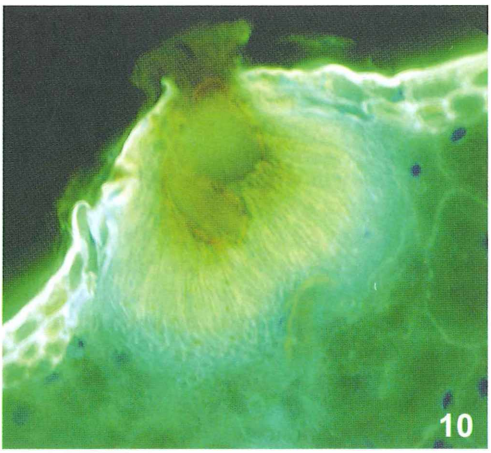


Abb. 9: Nadelquerschnitt mit drei Aecidienlagern. Gefärbt mit Calcofluor. Unter UV-Fluoreszenzanregung leuchtet das Mycel weiß-blau im gesamten Querschnitt. – Abb. 10: Querschnitt durch ein noch unreifes Lager, das sich gerade öffnet. Färbung Calcofluor und Lactophenolblau. Fluoreszenz, Blauanregung. Das Mycel ist hier diffus hellgrün unterhalb des Lagers.

ren erscheinen bräunlich, darunter das Lager gelb, und weiter hellgrün – so unsere vorsichtige Interpretation – Mycel, das ins Wirtsgewebe eindringt (Fluoreszenzanregung blau).
Auf den Abbildungen 9 und 10 ist der Untergrund schwarz, wie das bei einer Fluoreszenzaufnahme zu erwarten ist. Die Schnitte lagen im Gegensatz zum Schnitt in Abbildung 8 in Glycerin, das keine Eigenfluoreszenz zeigt. In Euparal ist dagegen eine deutliche Aufhellung durch die Eigenfluoreszenz des Harzes zu beobachten.

Schlussbetrachtung

Erst nach Vorliegen der Schnitte haben wir uns entschlossen, das Thema nochmals aufzugreifen, obwohl es in Benno Richters Beitrag vor 18 Jahren schon ausführlich behandelt worden war. So verstehen wir diesen Beitrag als Ergänzung zum schon bestens Beschriebenen und als Anregung, sich mit dieser interessanten Gruppe der Rostpilze zu beschäftigen. Vielleicht sind ja die roten Flecken auf den Birnenblättern in Nachbars Garten ein schöner Birnengitterrost?
Auf eine detaillierte Beschreibung des komplizierten Entwicklungszyklus von *Chrysomyxa rhododendri* haben wir im Hinblick auf die beiden Veröffentlichungen (Richter, 1991; Nierhaus-Wunderwald, 2002) bewusst verzichtet. Das lesenswerte Merkblatt ist in Zeiten des Internet leicht zugänglich, und den MIKROKOSMOS bezieht der engagierte Mikroskopiker sowieso schon lange!

Nachdem wir nun durch die intensive Beschäftigung mit diesem Pilz einen Einblick in den Entwicklungszyklus erhielten, haben wir eine Fortsetzung geplant mit einer Untersuchung von befallenen Blättern der Alpenrose. Dabei bietet es sich dann an, auf den Wirtswechsel dieses Rostpilzes von der Alpenrose zur Fichte näher einzugehen.

Literaturhinweise

Advocat A.: Le Naturaliste Internetforum. http://www.lenaturaliste.net/forum/viewtopic.php?f=208&t=1775 (2008)

De Bary, A.: Aecidium abietum. Bot. Zeitung 48–52, 761–774, 777–789, 801–811, 825–830, 841–847 (1889).

Herrmann, K., Streble, H.: Perfekte Handschnitte mit einfachen Hilfsmitteln. Mikrokosmos 94, 269–271 (2005).

Nierhaus-Wunderwald, D.: Rostpilze an Fichten. Merkblatt für die Praxis 35, 1–8 (2002). http://www.wsl.ch/Im/publications.

Kothe, H.-W.: Brand- und Rostpilze. 1. Der Antherenbrand der Nelkengewächse. Mikrokosmos 78, 321–325 (1989).

Kothe, H.-W., Willems, G.: Brand- und Rostpilze. 2. Die Rostpilzgattung *Puccinia*. Mikrokosmos 79, 33–40 (1990).

Richter, B.: Der Alpenrosenrost – ein interessanter Vertreter der Rostpilze. Mikrokosmos 80, 260–264 (1991).

Verfasser: André Advocat, 90, rue Saegwalt, F-86140 Stosswihr, und
Dr. Klaus Herrmann, Silcherstr. 12, 75242 Neuhausen, E-Mail: klausbigi.herrmann@t-online.de

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

Kurze Mitteilung

Anatomie unter Stress

In mediterranen Trockengebieten wird Rosmarin (*Rosmarinus officinalis* L.) angepflanzt, um Wüstenbildung (Desertifikation) und Bodenerosion zu verhindern. Es hat sich erwiesen, dass diese Art (und auch andere Trockenpflanzen) besonders resistent gegenüber Wassermangel (Stress) sind. Unter Laborbedingungen hat man nun den Einfluss von Wasserstress auf die anatomische Struktur untersucht. Außer den Kontrollpflanzen mit täglicher Bewässerung hat man Mangelpflanzen mit nur viermaliger beziehungsweise zweimaliger Wassergabe pro Woche herangezogen und untersucht. Dünnschnitte (0,5 µm) von jeweils 10 Blättern wurden mit 0,5% Toluidin-Blau, gelöst in Boratpuffer, gefärbt. Es ergab sich, dass die anatomischen Modifikationen am ausgeprägtesten in den am stärksten trocken gehaltenen Pflanzen waren. Diese zeigten eine zunehmende Verholzung und Verdickung der kollenchymatischen und sklerenchymatischen Gewebe. Diese Verdickungen waren stärker in den Gefäßfasern der Hauptnerven. Eine signifikante Reduktion der Epidermiszellen an beiden Seiten des Blattes der Trockenpflanzen wurde konstatiert. Eine Verringerung der interzellulären Räume des Schwammparenchyms wurde nur bei der stärksten Trockenbehandlung gefunden. Auch die Dicke und Ultrastruktur der Kutikula wurde durch die Trockenbehandlung vergrößert.

Die Drüsenhaare leiden besonders stark unter dem Wasserstress (Abb. 1). Sie bestehen aus einer sekretierenden Köpfchenzelle, die von einem achtzelligen Ring von sekretierenden Zellen umgeben ist, durch welchen ein Schlauch die Sekretzelle mit einer Basiszelle der Epidermis verbindet. Die Sekrethaare werden sehr stark von dem Wasserstress beeinflusst (Abb. 1, B): Die Basalzelle wird flach gedrückt, die sekretorischen Zellen kollabieren bei beiden Stressbehandlungen, die Kutikula des Sekretköpfchens zerreißt (Abb. 1, C). Auffällig ist die starke Kutikula in dem substomatalen Raum unter Trockenbedingungen. Unter lang anhaltenden Trockenbedingungen kam es zu einer Runzelung der Epidermis, wodurch sicherlich

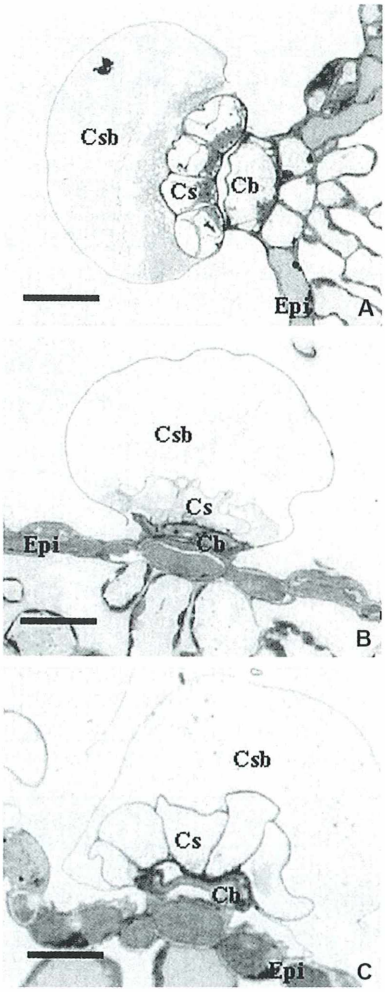


Abb. 1: Längsschnitt durch die Drüsenhaare von Rosmarin.
A Kontrollpflanze ohne Wasserstress: Tägliche Wassergabe.
B Drüsenhaar mit leichtem Wasserstress: Viermal pro Woche Wassergabe.
C Drüsenhaar einer Pflanze mit starkem Wasserstress: Nur zweimal pro Woche Wassergabe.
Cb Basiszelle, Cs sekretierende Zelle, Csb sekretierende Köpfchenzelle, Epi Epidermis (aus Olmo et al., 2007).

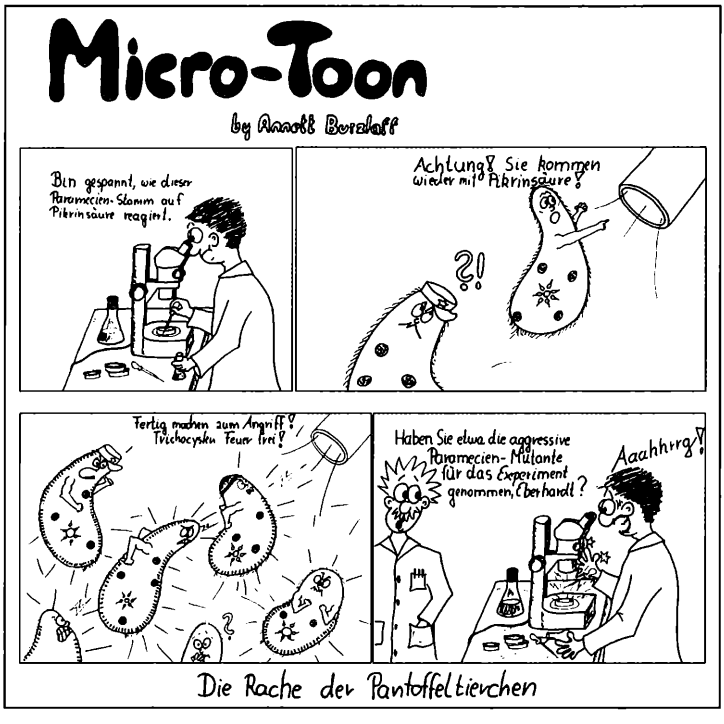
© Elsevier GmbH. Alle Rechte vorbehalten; http://www.elsevier.de/

die Transpiration und der Wasserverlust vermindert wird. Auch die Kohlensäure-Assimilation war auf circa 80% reduziert.
Die anatomische Struktur zeigt also eine deutliche Adaptation an die durch Trockenheit verursachte Stress-Situation, welche die physiologische Anpassung wirksam unterstützt.

Literaturhinweis

Olmos, E., Sánchez-Blanco, M. J., Ferrández, T., Alarcón, J. J.: Subcellular effects of drought stress in *Rosmarinus officinalis*. Plant Biology 9, 77–84 (2007).

H. F. Linskens, Nijmegen



ANZEIGE

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

Ein Kastenmikroskop von Johann Heinrich Tiedemann

Erich Steiner

Johann Heinrich Tiedemann (1742–1811) bekleidete das Amt des Hofopticus und Mechanicus in Stuttgart. Er produzierte Barometer, Thermometer, kleine Luftpumpen, Elektrisiermaschinen, Teleskope und in Anlehnung an englische Hersteller unter anderem auch Cuff- und Culpepper-Typ-Mikroskope. Beseke stellte 1788 Tiedemanns Mikroskop unter allen Mikroskopen jener Zeit oben an, sowohl in der Brauchbarkeit der Gläser als auch in der mechanischen Einrichtung (Harting, 1866).

Tiedemann war auch bestrebt, seine Geräte wesentlich preisgünstiger als die Engländer zu verkaufen. Er schreibt dazu in seiner Schrift von 1785: *Da meine gegenwärtige Hauptabsicht ist, meine deutschen Landsleute zu benachrichtigen, was sie in ihrem Vaterland selbst um geringere Preise als von Engländern haben können, so wird es nicht als Unbescheidenheit aufgenommen werden, wenn ich hier beyseze, daß bey einer kürzlich in Wien vorgenommenen unpartheiischen Vergleichung zwischen einem Microscop von Adams aus London und einem von mir (nach Tab. I.) Vergrößerung, Deutlichkeit, Helle, äusserer Puz gleich waren, nur bey jenem sich ein größeres Sehfeld gezeigt habe, welches ich aber durch einige Veränderung der Oculare leicht erweitern kann. Auch war der Mechanismus bey dem meinigen bequemer. Hingegen kostete das von Adams 330 fl. das meinige aber nur 66 fl. Mehrere andere Vergleichungen meiner 18zolligten achromatischen Telescope fielen eben so wenig zu meinem Nachtheil aus. Allein das Vorurtheil gegen deutsche Künstler und die hohe Meinung von Engländern, deren einige sich durch große Meisterstücke berühmt gemacht haben, waren schon einige Mal Ursache, daß meine Instrumente vortreflich waren, nachdem Dollond darauf gestochen und der Preis erhöhet wurde, da sie vorher ohne aufmerksame Betrachtung als deutsche Arbeit verworfen wurden.*

Durch einen Zufall war es mir möglich, ein seltenes Kastenmikroskop von J. H. Tiedemann, von dem ich annehme, dass es um 1776 gebaut wurde, zu untersuchen (Abb. 1). Das Gerät besteht aus einem besonders gut erhaltenen Mes-

Abb. 1: Mikroskop von H. J. Tiedemann im Holzaufbewahrungskasten mit zahlreichem Zubehör.

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

singstativ mit originaler Zaponierung, im Holzaufbewahrungskästchen aus Mahagoni (L × B × H; 34 × 16 × 19 cm) fest am Boden kippbar montiert. Die rechteckig-prismatische Säule trägt am oberen Ende eine ringförmige Aufnahme (Arm) für das Mikroskop.

Die technischen Daten

Gesamthöhe in Arbeitsstellung: 37,2 cm

Tubus: 17 cm; monokular, im unteren Teil verjüngt

Trieb: Grobtrieb, rechtsseitig, mit gerader Verzahnung auf den Tisch wirkend

Tisch: Dreiflügeliger Messingtisch mit zwei Bohrungen und einem zweiteiligen Schwenkarm (mit Klemmschraube) zur Aufnahme einer Auflichtbeleuchtungslinse oder eines Fischhalters. Eine Bohrung für die Aufnahme einer Haltepinzette und die zweite Bohrung (mit Klemmschraube) für wahrscheinlich eine zusätzliche Auflichtbeleuchtungslinse, die aber nicht vorhanden ist. Die zentrale Tischöffnung nimmt eine Präparathalteplatte auf (so genannter Bonanni-Tisch). Auf der Unterseite des Tisches befinden sich zwei gebogene Federklemmen für die Aufnahme einer Glasröhre.

Beleuchtungsapparat: Höhenverstellbarer Konkavspiegel in Kardanhalterung und höhenverstellbarer, dreiteiliger Schwenkarm für Kerzenbeleuchtung

Optik: Sieben nichtachromatische Objektive (Nr. 1 bis Nr. 7) bzw. ein eingeschraubtes zweilinsiges Okular mit Feldlinse (soll das Gesichtsfeld vergrößern) und einem Staubschutzschieber

Signatur: Auf dem Tubus mit *Tiedemann, Stuttgardt* signiert

Das Zubehör

Das Gerät verfügt über reichhaltiges Zubehör (Abb. 2 und 3):

1 versperrbares Holzaufbewahrungskästchen aus Mahagoni mit aufklappbarem Brettchen auf der rechten Seite und einer Lade auf der Kästchen-Unterseite (teilweise mit grünem Filz ausgeschlagen)

1 Bonanni-Tisch mit einer Lochblendenscheibe mit sechs Löchern

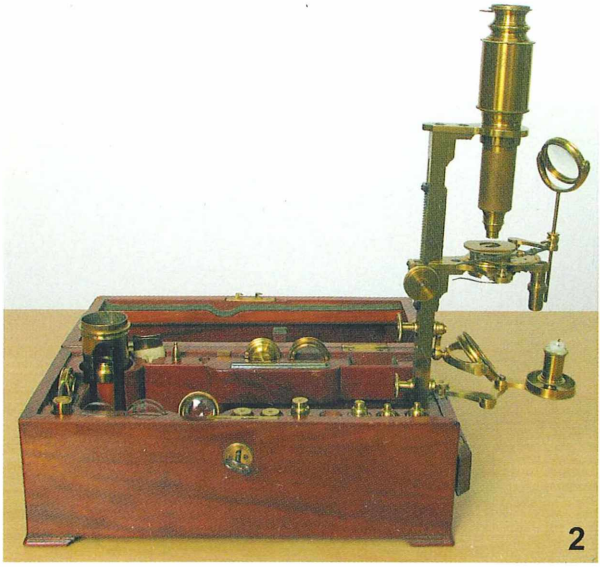
1 Mikrometerplättchen mit Rasterteilung (in das Okular einschraubbar)

1 loses Mikrometerplättchen mit Rasterteilung (als Objektmikrometer verwendbar)

1 Compressorium im Holzschuber

2 verschieden große Lieberkühn-Spiegel in Messing-Aufbewahrungsdöschen

1 Schieber zur Montage der Lieberkühn-Spiegel



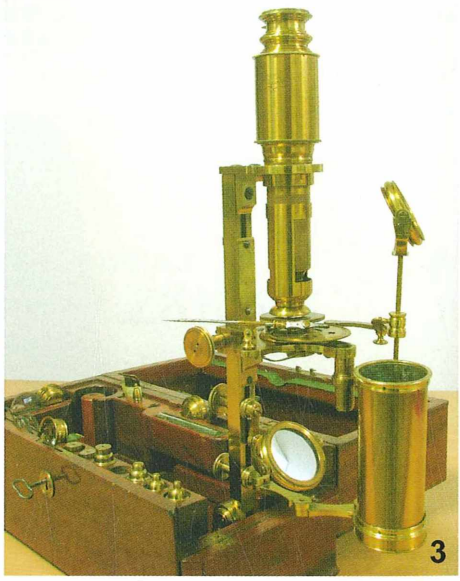


Abb. 2: Mikroskop in Arbeitsstellung mit Kerzenbeleuchtung. – Abb. 3: Mikroskop mit Lieberkühn-Spiegel für Auflicht-Beleuchtung.

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

4

Abb. 4: Signatur auf dem Tubus.

1 Haltepinzette mit Gelenk zur Befestigung am dreiflügeligen Messingtisch
1 Pinzette
1 ca. 10fach vergrößernde Lupe mit einschraubbarem Haltegriff
1 Lebendzelle
1 Glasröhrchen für Frosch- (Molch-, Aal-) Untersuchungen mit Drahtspirale zum Ausstoßen von Untersuchungsobjekten aus dem Glasröhrchen
1 Fischhalter mit Seidenband zum Festbinden des Untersuchungsobjektes
2 runde, plankonkave Gläser für Untersuchungen im Wasser (passen genau in die zentrale Tischöffnung)
1 bikonvexe Linse
1 Messing-Döschen für Sprengringe und Glimmerplättchen
1 Stechzirkel in Holzschuber (dieser dient gleichzeitig zum Aufbewahren der Auflichtbeleuchtungslinse). Der Stechzirkel kann, wenn man einen Zirkel-Schenkel in die Haltegriff-Bohrung der Lupe hineinsteckt, als behelfsmäßiges Zirkelmikroskop verwendet werden.
1 Messing-Haltegriff mit Festklemmring zur Aufnahme eines kleinen Pinsels (befindet sich in der Lade auf der Kästchen-Unterseite
1 Blend- und Windschutz für die Kerzenbeleuchtung

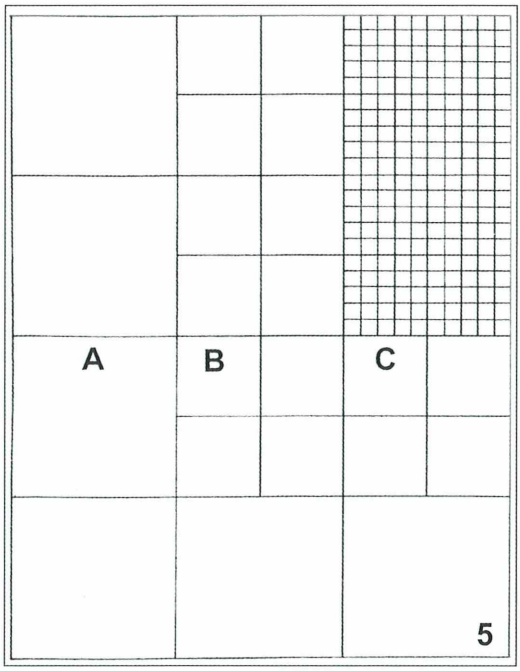


Abb. 5: Raster des linken unteren Randes eines Mikrometerplättchens. A Seitenlänge eines großen Quadrats = 1 Pariser Linie (= 2,256 mm). B Seitenlänge eines mittleren Quadrates = 1/2 Pariser Linie. C Seitenlänge eines kleinen Quadrates = 1/10 Pariser Linie (= 1 Scrupel).

Tiedemann gab seinen Mikroskopen zwei Mikrometerplättchen bei. Eines davon ist als Okularmikrometer in das Okular einschraubbar, das andere ist lose als Objektmikrometer verwendbar. Beide Mikrometerplättchen haben dieselbe Rasterung. Große Quadrate mit einer Seitenlänge von einer Pariser Linie (= 2,256 mm) umschließen mittlere Quadrate mit einer Seitenlänge von 1/2 Pariser Linie und diese Quadrate umschließen kleine Quadrate mit einer Seitenlänge von 1/10 Pariser Linie (= ein Scrupel) (Abb. 5).
Tiedemann führt in seiner Schrift von 1785 die Vorteile dieser Mikrometerplättchen an:

1. Es können mit diesen Mikrometerplättchen auf einfache Weise die Vergrößerungen der dem Mikroskop beigefügten Objektive bestimmt werden.
2. Es können sehr kleine Dinge ausgemessen werden.
3. Es können mit Hilfe des netzförmigen Rasters im Okularmikrometer leicht mikroskopische Strukturen auf ein Zeichenblatt, auf dem ebenfalls ein Raster vorbereitet ist, übertragen werden.

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

Tabelle 1: Vergrößerungen und Mikrometerwerte

Objektiv-nummer	Okular-vergrößerung	Objektiv-vergrößerung	Gesamt-vergrößerung	Arbeits-abstand	Mikrometer-wert*
1	9	3,7×	33×	31 mm	61,66 nm
2	9	4,5×	41×	25 mm	49,25 nm
3	9	9,5×	86×	10 mm	23,50 nm
4	9	15×	135×	4 mm	15,50 nm
5	9	26×	234×	2 mm	8,75 nm
6	9	41×	369×	1 mm	5,45 nm
7	9	62×	558×	0,5 mm	3,63 nm

* Mikrometerwert in µm (1 µm = 0,001 mm) pro kleinstem Teilstrich (= 1/10 Pariser Linie) auf dem Okularmikrometerplättchen

Vergrößerungsbestimmungen

Mit Hilfe der Mikrometerplättchen wurden von mir die Vergrößerungen der sieben Objektive beziehungsweise in weiterer Folge mit Hilfe eines Objektmikrometers der Firma Reichert (2 mm geteilt in 200 Teile) die Mikrometerwerte der sieben Objektive bestimmt (Tabelle 1).

Auflichtmikroskopie

Für die Auflichtmikroskopie mit Hilfe der beiden Lieberkühn-Spiegel waren Objektträger mit aufgeklebten schwarzen Naturpapier-Scheibchen mit 3 mm, 5 mm und 8 mm Durchmesser als Objektunterlage notwendig (Abb. 6). Für die Beleuchtung wurde eine Niedervolt-Mikroskopierleuchte Lux-FNI (6 V, 30 W) der Firma Reichert verwendet. Das Licht wurde über den Konkavspiegel des Mikroskops an den schwarzen Naturpapier-Scheibchen vorbei auf den Lieberkühn-Spiegel geleitet, der dann das Objekt auf dem Naturpapier-Scheibchen beleuchtete.

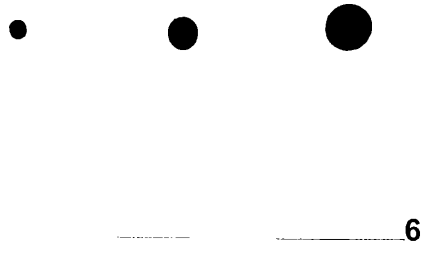


Abb. 6: Objektträger mit aufgeklebten schwarzen Naturpapierscheibchen für Auflicht-Beleuchtung mit einem Lieberkühn-Spiegel.

Tabelle 2: Auflichtparameter

Objektiv-nummer	Lieberkühn-Spiegel	⌀ des Objektträger-scheibchens
1	großer Spiegel	8 mm
2	großer Spiegel	8 mm
3	kleiner Spiegel	5 mm
4	kleiner Spiegel	3 mm
5	kleiner Spiegel	3 mm
6	nicht durchführbar	
7	nicht durchführbar	

Die für die Auflichtmikroskopie relevanten Daten sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Abschließend kann nur gesagt werden, dass Tiedemanns mechanische Ausführung dieses Gerätes beziehungsweise die optische Leistung der damaligen Zeit entsprechend höchstes Lob verdienen.

Literaturhinweise

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

Kambeck, B. U.: Alphabetische Liste kontinentaler Hersteller von Mikroskopen des 18. und 19. Jahrhunderts. Privatdruck, Hildesheim 2001.

Martin, H., Martin, W.: Vier Jahrhunderte Mikroskop. Weilburg Verlag, Wiener Neustadt 1983.

Patzak, B. (Hrsg.), Steiner, E., Schulz, P.: Die Mikroskopesammlung des Pathologisch-Anatomischen Bundesmuseums im Wiener Narrenturm. Pathologisch-Anatomisches Bundesmuseum Wien, Wien 2008.

Tiedemann, J. H.: Beschreibung der von ihm verfertigten achromatischen Fernröhren, zusammengesetzten Vergrößerungsgläser, und anderer zur Mathematik und Physik gehörigen Werkzeuge. bey Johann Benedict Mezler, Stuttgart 1785.

Verfasser: Prof. OStR Erich Steiner, Triestinggasse 35, A-1210 Wien, Österreich

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

Nachricht

Hiddensee 2009: Erneut Natur erleben – Verborgenes mikroskopieren

Es ist soweit: Die traditionelle Hiddensee-Mikroskopierwoche wurde zeitlich festgelegt. Vom 18. bis 25. Oktober 2009 kommen wieder Mikroskopierfreunde in der Biologischen Station der Universität Greifswald im gewohnten Ambiente zu gemeinsamen Tun zusammen. Untergebracht in rustikalen Mehrbett-Bungalows können in einem naturnahen Ambiente in einem eigens für mikroskopische Arbeiten ausgerüsteten Kursraumgebäude (Abb. 1) Proben, die im Verlaufe verschiedener Exkursionen und anderer Aktivitäten genommen wurden, untersucht werden. Wer sein eigenes Untersuchungsinstrument bevorzugt, sollte es mitbringen.

Neben dem Mikroskopieren ist Zeit genug, den Charme dieser Ostsee-Insel mit allen Sinnen zu erleben, durch Wanderungen, durch Radtouren, durch Vogelexkursionen oder einfach durch Relaxen am Strand.

Abb. 1: Das in idyllischer Umgebung gelegene Kursraumgebäude der Biologischen Station der Universität Greifswald auf Hiddensee.

Interessenten sollten sich wegen weiterer Informationen sowie wegen der Anmeldungsmodalitäten sobald wie möglich mit Prof. Dr. Klaus Hausmann per Post (Freie Universität Berlin, Institut für Biologie/Zoologie, Königin-Luise-Str. 1–3, 14195 Berlin) oder per E-Mail (hausmann@zedat.fu-berlin.de) in Verbindung setzen. Es gibt nur ein limitiertes Teilnehmerkontingent. Die Plätze werden in der Reihenfolge der verbindlichen Anmeldungen vergeben.

Aus den Arbeitsgemeinschaften

Aktualisierung der Bonito Adressen

Die Arbeitsgemeinschaft BONITO e.V. (Limnologie) pflegt seit langem eine enge Zusammenarbeit mit dem Institut für Chemie, Analytik und Umweltchemie der Humboldt-Universität zu Berlin. Ab sofort gelten folgende Kontakadressen:

BONITO
Dipl. Biol. Wolfgang M. Richter,
Drosselgang 2,
21709 Himmelpforten (Nd.-Elbe)
Tel. und Fax: 0 41 44/49 25
E-Mail: bonitorichter@web.de
Homepage: www.bonito-feldberg.de

Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Chemie
Dr. Georg Kubsch,
Brook-Taylor-Straße 2, 12489 Berlin
Tel.: 0 30/20 93 71 77
Fax: 0 30/20 93 69 85
E-Mail: georg.kubsch@chemie.hu-berlin.de
Homepage: www.linscheidlab.de

Homepage für die seit Jahren erfolgreich angebotenen Feldberger Sommerworkshops und Schülersommerkurse für Umweltanalytik und Umweltchemie:
http://www.linscheidlab.de/LinscheidLab_SommerkursStudenten_en.html

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

AUGEN BLICK

Vererbte Netzhaut-Degeneration:
Makula-Degeneration, Retinitis pigmentosa, Usher-Syndrom, Alters-Makula-Degeneration...jeder 40. in Deutschland.
Restsehen und Erblindung sind immer noch die bitteren Folgen.
Hinnehmen? Nein. Handeln? Ja.
PRO RETINA arbeitet aktiv als anerkannte Selbsthilfegruppe:
Praktische Lebenshilfe - von der Kindheit bis ins Alter. Gezielte Unterstützung sinnvoller Forschung.

LICHT INS DUNKEL. PRO RETINA.
...UND SIE:
Konto-Nr. 54 800-605, BLZ 500 100 60, Postgirokonto Frankfurt.
PRO RETINA Deutschland e.V., Vaalser Str. 108, 52074 Aachen

FLUGEL • KÜHN STUTTGART

Impressum
Herausgeber: Prof. Dr. Klaus Hausmann, Institut für Biologie/Zoologie, Freie Universität Berlin, Königin-Luise-Straße 1–3, 14195 Berlin, Telefon: +49(0)30/83 85 64 75, Telefax: +49(0)30/83 85 64 77, E-Mail: hausmann@zedat.fu-berlin.de; Redaktionsassistentin: Dr. Renate Radek, Institut für Biologie/Zoologie, Freie Universität Berlin, Königin-Luise-Str. 1–3, 14195 Berlin, Tel.: +49(0)30/83 85 63 73, E-Mail: rradek@zedat.fu-berlin.de
Verlag: Elsevier GmbH – Urban & Fischer, Karlstraße 45, 80333 München,
Tel.: +49(0)89/5 38 30, Fax: +49(0)89/5 38 39 39, E-Mail: info@elsevier.de
Anzeigenleitung: Elsevier GmbH, Karlstraße 45, 80333 München, Ansprechpartner: Sophie Raupach,
Tel.: +49(0)89/53 83-6 03, Fax: +49(0)89/53 83-7 25; E-Mail: s.raupach@elsevier.com
Anzeigenpreise: Gültig ist die Preisliste vom 1. Januar 2009.
Lieferkonditionen (2009): Band 98 (1 Band mit 6 Ausgaben)
Abopreise* (2009):

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

Deutschland, Österreich, Schweiz

*Die Preisangaben sind unverbindliche Preisempfehlungen. Preisänderungen müssen wir uns vorbehalten. Alle Preise verstehen sich inklusive Versandkosten und exklusive Umsatzsteuer. Bei der Rechnungsstellung wird Umsatzsteuer gemäß der zum Rechnungszeitraum geltenden Richtlinien erhoben. Versand per Luftpost ist möglich, Preise auf Anfrage. Kunden in den EU-Ländern werden gebeten ihre Umsatzsteuernummer anzugeben.
Der Verlag behält sich das Recht vor, Zusatzbände im Abonnementzeitraum zu publizieren. Erscheinende Supplement-Bände zu einzelnen Zeitschriften sind in den genannten Preisen enthalten.
Kündigung von Abonnements: Abonnements laufen jeweils für ein Kalenderjahr und werden automatisch verlängert, falls nicht bis zum 31. Oktober des Jahres gekündigt wird.
Abonnements: Bitte richten Sie ihre Bestellung an Elsevier GmbH, Aboservice, Postfach 4343, 72774 Reutlingen.
Tel.: +49(0)7071/93 53 16, Fax: +49(0)7071/93 53 35, E-Mail: journals@elsevier.com
Bankverbindung: Deutsche Bank AG Reutlingen, Kontonummer 159 9950 (BLZ 640 700 85), IBAN DE54 6407 0085 0159 9950 00; BIC DEUTDESS640
Postbank Stuttgart, Kontonummer 6930-706 (BLZ 600 100 70), IBAN DE80 6001 0070 0006 9307 06, BIC PBNKDEFF
Bitte geben Sie bei der Zahlung Ihre vollständigen Daten an.
Copyright: Alle Artikel, die in dieser Zeitschrift veröffentlicht werden, sind urheberrechtlich geschützt, alle Rechte vorbehalten. Ohne schriftliche Erlaubnis des Verlages ist es verboten, Teile der Zeitschrift in irgendeiner Form zu reproduzieren. Dies beinhaltet sowohl die Digitalisierung als auch jede andere Form der elektronischen Weiterverarbeitung wie Speichern, Kopieren, Drucken oder elektronische Weiterleitung des digitalisierten Materials aus dieser Zeitschrift (online oder offline).
Für den allgemeinen Vertrieb von Kopien für Anzeigen- und Werbezwecke, für die Neuzusammenstellung von Sammelbänden, für den Wiederverkauf und andere Recherchen muss eine schriftliche Erlaubnis vom Verlag eingeholt werden.
Satz: SATZREPROSERVICE GmbH Jena, Talstraße 84, 07743 Jena.
Druck/Bindung: Stürtz GmbH, Alfred-Nobel-Straße 33, 97080 Würzburg.
(∞) Seit Band 85, Ausgabe 1 (1996) erfüllt das Papier, das für diese Zeitschrift genutzt wurde, die Anforderungen von ANSI/NISO Z39.48-1992 (Beständigkeit von Papier).

Hergestellt in Deutschland
Alle Rechte vorbehalten.

© Elsevier GmbH

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

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

Hinweise für Autoren

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

2. Die Redaktion bittet, Manuskripte auf fortlaufend nummerierten DIN A4-Bögen einzureichen. Zugunsten der Themenvielfalt in einem Heft können keine überlangen Artikel berücksichtigt werden. Ein Manuskript darf bei 1,5fachem Zeilenabstand und einer 12-Punkt-Schriftgröße einschließlich der Literaturhinweise und Bildlegenden nicht länger als 10 Seiten sein; der Abbildungsanteil darf insgesamt vier Druckseiten nicht überschreiten (Platzbedarf der Abbildungen gemäß der vorgegebenen Bildgrößen berechnen). Der Text wird durch Zwischenüberschriften untergliedert. Am Ende des Manuskriptes steht die vollständige Autorenadresse. Soweit möglich sollten die Manuskripte zusätzlich zur Hardcopy auf einer 3,5″-Diskette (kein Macintosh) oder CD als Word-Dokument ohne spezielle Formatierung eingereicht werden (Arial 12 pt). Bitte keine Trennungen einfügen.

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

4. Als Bildvorlagen sind Farbdias, Schwarzweiß- oder Farbfotos sowie druckfertige Strichzeichnungen und Graphiken geeignet. Alle Materialien namentlich kennzeichnen. Auf den Originalabbildungen keine Beschriftungen vornehmen, sondern nur auf Kopien. Elektronische Abbildungen nur als Tiff-Dateien (300 dpi bei 14 cm Bildbreite) auf CD-R einreichen. Bei digitalen Bildern unbedingt auch eine unbeschriftete Version einreichen. Wenn Beschriftung in digitalen Vorlagen vorgenommen wird, bitte Arial 10 pt normal verwenden; die Nummerierung der Abbildungen in Arial 12 pt fett einfügen. Die Abbildungen so abspeichern, dass die Beschriftung nachträglich verändert werden kann (z. B. in Photoshop die Ebenen nicht vereinen, sondern getrennt belassen).
Die Bilder werden in drei verschiedenen Breiten reproduziert: 7 cm (1-spaltig), 9,5 cm (1,5-spaltig) und 14 cm (2-spaltig = seitenbreit). Es können mehrere Bilder zu Tafeln kombiniert werden. Vergrößerungen sollten erst anhand der Bildandrucke berechnet werden, die vor Drucklegung zusammen mit den Korrekturandrucken der Artikel den Autoren zugeschickt werden. Anstelle einer Vergrößerungsangabe können auch Maßstriche in die Abbildungen eingefügt werden.

5. Alle Bildvorlagen bleiben Eigentum des Autors.

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

Zitate von Zeitschriftenbeiträgen:
Schnepf, E.: Optische Aufheller: Leuchtende Werkzeuge für die Mikroskopie. Teil 1: Mechanismen und Substrate der Fluochromierung. Mikrokosmos 94, 175–180 (2005).
Kudryavtsev, A., Smirnov, A.: *Cochliopodium gallicum* n. sp. (Himatismenida), an amoeba bearing unique scales, from cyanobacterial mats in the Camargue (France). Europ. J. Protistol. 42, 3–7 (2006).

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

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

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

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

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

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

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

Mikrokosmos
3/2009 1 (6)

510543
Bibliothek des OÖ.
Landesmuseums
Postfach 91

Museumstraße 14
4010 Linz

300229

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mikrokosmos, Zeitschrift für Mikroskopie

Jahr/Year: 2009

Band/Volume: 98_3

Autor(en)/Author(s): diverse

Artikel/Article: Mikrokosmos 98/3 1