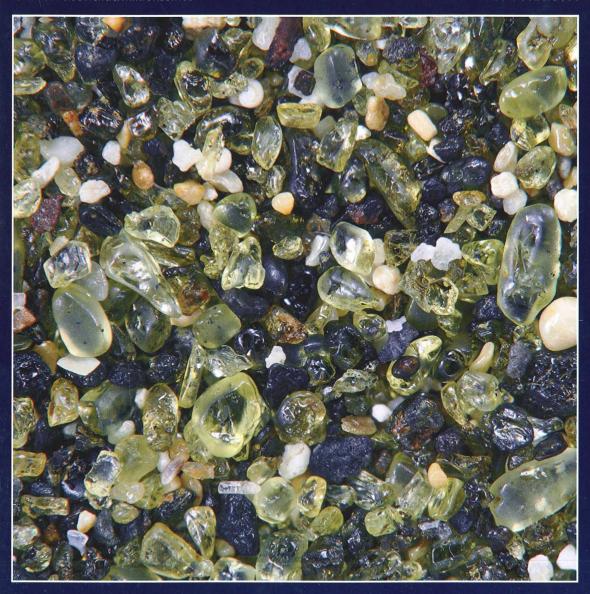


Heft 1 101. Jahrgang Januar 2012

www.elsevier.de/mikrokosmos

ISSN 0026-3680



MIKROKOSMOS Zeitschrift für Mikroskopie

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., Mikrobiologische Vereinigung im Naturwissenschaftlichen Verein zu Hamburg, Mikrobiologische Vereinigung München, Mikroskopischer Arbeitskreis Ruhrgebiet, 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.

Amlho A

Artikel

- Editorial Klaus Hausmann und Renate Radek
- 4 Pollen aus der Sparbüchse -Florale Kegelschnitte und weitere Makro-/Mikromotive Erich Lüthie
- Korallenskelette unter dem Makroskop Rudolf Drews
- Darstellung der Oberflächentextur von Sandkörnern aus Quarz in Durchlicht-Hellfeld-Beleuchtung Oliver Lenzen
- 30 Micromyces zygogonii und die Sternkörper der Jochalge Spirogyra Bernd Laber
- Alte und neue Tonträger Ein mikroskopisch-visueller Vergleich Hinrich Husemann
- Mikroskopische Studien an Organen des Stofftransportes wirbelloser Tiere Siegfried Hoc
- 51 Nurflügler-Samen von Alsomitra macrocarpa Die besten pflanzlichen Gleitflieger der Welt. Teil 4: Die "aerodynamische Visitenkarte". Mit einer Einführung in die Strömungstechnik Werner Nachtigall

Rubriken

2, 63, 64 Aus den Arbeitsgemeinschaften

11, 14, 36, 50, 59 Kurze Mitteilungen

12, 13 Nachrichten

Aus der Industrie

27 Mikro-Lyrik

29, 47 Buchbesprechung

48

Form und Funktion im Mikro- und Makrobereich

61 Mikro-Cartoon

Mikro-Dialoge

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

Editionial



Mit diesem Heft gehört der 100. Jahrgang des MIKROKOSMOS der Vergangenheit an. In diesem nun hinter uns liegenden Jahr gab es keine besonders spektakulären Artikel oder Meldungen, sondern wir haben einfach nur das weitergeführt, was seinerzeit Raoul H. Francé dazu bewegte, den MIKROKOSMOS zu gründen, nämlich ihn als Bindeglied zwischen Hobbymikroskopie und wissenschaftlicher Tätigkeit wirksam werden zu lassen, wobei Altes wie Neues zu seinem Recht kam: War es bei dem Aufsatz von Eike F. Wills die geräte- wie präparationstechnisch anspruchsvolle Laser Scanning Mikroskopie, welche die Körpermuskulatur einiger Rädertiere in bislang nicht gesehener Klarheit und Brillanz zeigte, ging es bei dem Aufsatz von Gerhard Scholtz um teilweise weit über 100 Jahre alte histologische Präparate, die nicht nur immer noch - ganz aktuell im universitären Unterricht eingesetzt werden, sondern denen auch ganz ohne Zweifel ästhetische Aspekte abgewonnen werden können. Zwischen diesen beiden Extremen finden sich die anderen Artikel, Meldungen, Nachrichten und Berichte des vergangenen Jahrgangs.

Das nun vor uns liegende Jahr hat eine Neuerung aufzuweisen, nämlich die Rubrik Form und Funktion im Mikro- und Makrobereich, in der es in weitesten Sinne um Bionik geht, also um das Erkennen biologischer Form- und Funktionsprinzipien und - soweit möglich deren Umsetzung und somit letztendlich Nutzung für und durch uns Menschen. Die Autoren dieser Rubrik sind keine geringeren als Werner Nachtigall und Alfred Wisser aus Saarbrücken, also ausgewiesene Bioniker. Lassen Sie sich überraschen, welche biologischen Gegebenheiten sie aufgreifen, erläutern und unter bionischen Aspekten umsetzen werden.

Wie nahezu in jedem Editorial möchten wir die Gelegenheit nicht verabsäumen, Sie, unsere Leser, zu ermuntern, als Autoren tätig zu werden. Sie können es sich kaum vorstellen, wie wohltuend die Empfindungen sind, wenn Sie erstmals Ihren eigenen Namen als Autor gedruckt sehen - zusammen mit Ihrem ureigensten Artikel. Sollten Sie beim Abfassen eines Artikels Probleme sehen, scheuen Sie sich nicht, uns zu kontaktieren. Wir helfen gerne!

In der Hoffnung auf einige neue Autorennamen grüßt Sie, liebe Leser, Ihr Berliner Herausgeberteam Prof. Dr. Klaus Hausmann Priv.-Doz. Dr. Renate Radek

Aus den Arbeitsgemeinschaften

Kontaktadressen der Mikroskopischen Vereinigungen

Berliner Mikroskopische Gesellschaft e.V.

Kontaktadressen: Günther Zahrt, Dahlemer Weg 101. 14167 Berlin, Tel.: 030/8336917. E-Mail: gm.zahrt@t-online.de.

und Prof. Dr. Klaus Hausmann, FU Berlin, Institut für Biologie/Zoologie,

Königin-Luise-Straße 1-3, 14195 Berlin,

Tel.: 030/83856475,

E-Mail: hausmann@zedat.fu-berlin.de

Internet:

www.berliner-mikroskopische-gesellschaft.de Treffpunkt: Ehrenbergsaal des Instituts für Biologie/ Zoologie der Freien Universität Berlin (1. Stock, Neubau, Eingang Haderslebener Straße 1-3) Termine: Siehe Programm (jede 2. Woche freitags, 19:00 Uhr)

Mikroskopie-Gruppe Bodensee (MGB)

Kontaktadresse: Günther Dorn,

Mennwanger Baindt 7, 88693 Deggenhausertal, E-Mail: info@dorn-konzeption.de und

info@jet-fotodigital.de

Internet: www.mikroskopie-gruppe-bodensee.de Treffpunkt: Im Deggenhausertal, bei verschiedenen Mitgliedern oder in der freien Natur

Termine: Circa alle 4–6 Wochen nach Absprache

Arbeitsgemeinschaft BONITO e.V. (Limnologie)

Kontaktadressen: Wolfgang M. Richter, Drosselgang 2, 21709 Himmelpforten (Nd.-Elbe), Tel.: 04144/4925, E-Mail: bonitorichter@web.de, und Dr. Georg Kubsch, Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Chemie,

Brook-Taylor-Straße 2, 12489 Berlin, Tel.: 030/20937177, Fax: 030/20936985,

E-Mail: georg.kubsch@chemie.hu-berlin.de Internet: www.bonito-feldberg.de

Internet: www.linscheidlab.de

Arbeitskreis Mikroskopie

im Naturwissenschaftlichen Verein zu Bremen

Kontaktadresse: Klaus Albers, Rennstieg 31, 28205 Bremen, Tel.: 0421/490462,

E-Mail: kg_albers@gmx.de Internet: www.nwv-bremen.de

Treffpunkt: Universität Bremen NW 2, Raum B 3236, 3. Stock, Eingang Leobener Straße/James-Watt-Straße Termine: 3. Donnerstag im Monat um 18:15 Uhr

Mikroskopischer Freundeskreis Göppingen im Naturkundeverein Göppingen e.V.

Kontaktadresse: Ingeborg Siebrasse, Tel.: 07161/73405

E-Mail: i.siebrasse@web.de

Internet:

http://people.freenet.de/mikroskopie-goeppingen.de Treffpunkt: Schulungsraum der Firma Leonhard Weiß, Leonhard-Weiß-Straße (vormals Fabrikstraße) 40 in Göppingen Termine: Einmal monatlich um 19:00 Uhr.

siehe Programm

Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft

der Naturwissenschaftlichen Vereinigung Hagen e.V.

Kontaktadresse: Jürgen Stahlschmidt,

Haferkamp 60, 58093 Hagen, Tel.: 023 31/5 75 09,

E-Mail: nwv.stahlschmidt@t-online.de

Internet: www.nwv-hagen.de

Treffpunkt: Umweltzentrum Hagen (NWV-Raum),

Boeler Straße 39, 58097 Hagen

Termine: Siehe Programm auf der Internetseite

Mikrobiologische Vereinigung Hamburg

Kontaktadresse: Dr. Georg Rosenfeldt,

Nigen-Rägen 3b, 22159 Hamburg,

Tel.: 0 40/6 43 06 77,

E-Mail: georg@harald-rosenfeldt.de,

Planktongruppe: Frau E. Pieper, Tel.: 040/8701453

Mikropaläontologische Gruppe:

Herr Matthias Burba, Tel.: 040/8802175,

E-Mail: matthiasburba@hotmail.com

Internet: www.mikrohamburg.de

Treffpunkt: Zentrum für Schulbiologie und Umwelt-

erziehung (ZSU), Hemmingstedter Weg 142,

22609 Hamburg (Klein Flottbeck),

Tel.: 040/8231420, E-Mail: zsu@li-hamburg.de

Termine: Siehe Programm auf der Internetseite

Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft Hannover (MAH)

Kontaktadresse: Karl Brügmann, Woltmannweg 3. 30559 Hannover, Tel.: 05 11/81 33 33,

E-Mail: karl@kg-bruegmann.de

Internet: www.kg-bruegmann.de

Treffpunkt: Universität Hannover,

Institut für Organische Chemie, Schneiderberg 1B,

30167 Hannover

Termine: Nach Verabredung

Arbeitskreis Mikroskopie

im Freundeskreis Botanischer Garten Köln e.V.

Kontaktadressen: Eckart Hillenkamp, Bügelstraße 2, 46045 Oberhausen, Tel.: 02 08/6 26 57 83,

E-Mail: info@mikroskopieren.de,

und Friedrich Lütkemöller, Tel.: 02 21/89 47 35, und Dr. Wilhelm Wefers, Tel.: 02 08/76 09 50

Internet: www.freundeskreis-flora-koeln.de und

9372 www.mikroskopieren.de

LANDESMUSEUM BIBLIOTHEK

Mikrokosmos 101, Heft 1, 2012 www.elsevier.de/mikrokosmos

Treffpunkt: Betriebsgebäude des Botanischen Gartens Köln, Raum 2.1 (Zugang über den Wirtschaftshof), Amsterdamer Straße 34, 50735 Köln (Riehl)

Termine: In der Regel einmal monatlich montags, 19:15 Uhr. Details siehe Programm

Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft Mainfranken Kontaktadresse: Joachim Stanek, Am Moosrangen 28, 90614 Ammerndorf, Tel.: 0 91 27/88 32, E-Mail: info@stanek.name Internet: www.stanek.name Treffpunkt: BIO-Zentrum der Universität Würzburg in Gerbrunn (Am Hubland) Termine: Nach Ankündigung

Mikrobiologische Vereinigung München Kontaktadressen: Siegfried Hoc, Donaustraße 1A, 82140 Olching, Tel./Fax: 08142/2452, E-Mail: Siegfried-Hoc@t-online.de, und Martin Mach, Versailler Straße 13, 81677 München, Tel.: 089/6909843, E-Mail: webmaster@baertierchen.de Internet: www.mikroskopie-muenchen.de Treffpunkt: Seminarraum 04 (Kellergeschoss des Neubaus), TU München, Lothstraße 17, Haltestelle Lothstraße der Straßenbahnlinie 20, Zugang von der Dachauer Straße oder Heßstraße Termine: Siehe Programm

Arbeitskreis Mikroskopie Rhein-Main-Neckar Kontaktadresse: Dr. Detlef Kramer, Tannenweg 13, 64354 Reinheim, Tel.: 0 61 62/91 84 49 oder Institut für Botanik der TU Darmstadt, Schnittspahnstraße 3–5, 64287 Darmstadt, E-Mail: kramer@bio.tu-darmstadt.de Treffpunkt: Seminarraum B1 02/1 oder Kursraum B2 03/148 der TU Darmstadt, Fachbereich Biologie, je nach Programm Termine 2012: 4.2., 8.4., 3.6., 5.8., 7.10. und 2.12. Eventuelle Änderungen werden zeitnah unter www.mikroskopie-forum.de bekannt gegeben.

Mikroskopischer Arbeitskreis Ruhrgebiet (MAR) Kontaktadressen: Dr. Hans Jürgen Voß, Bottrop, Tel.: 0 20 45/8 26 31, E-Mail: tichy-voss@t-online.de, und Dr. Peter Voigt, Bottrop, Tel.: 0 20 41/2 64 05 50, E-Mail: petervoigt@t-online.de Treffpunkt: Städtisches Ratsgymnasium, Raum 202, Mittelstraße 50, 45964 Gladbeck Termine: Freitags nach vorheriger Absprache, in der Regel ab 18:00 Uhr. Siehe Ankündigungen unter www.mikroskopieren.de oder www.mikroskopie-forum.de

Mikroskopische Arbeitsgemeinschaft Stuttgart e.V. Kontaktadresse: Klaus Kammerer, Hauffstraße 11, 71732 Tamm, Tel.: 07141/601548, E-Mail: Klaus_Kammerer@web.de Internet: www.mikroag-stuttgart.de Treffpunkt: Universität Hohenheim, Übungsraum 091 der Botanik im Gebäude BIO II (Biologiezentrum), Garbenstraße 30, Hintereingang Termine: Jeden 2. Freitag im Monat, 19:00 Uhr

Tübinger Mikroskopische Gesellschaft e.V. Kontaktadressen: PD Dr. Alfons Renz (Vorsitzender), Zoologisches Institut, Morgenstelle 28, 72074 Tübingen, Tel. 07071/2970100, Fax: 07071/83801, E-Mail: Alfons.Renz@TMG-tuebingen.de, und Dr. Klaus Dönnebrink (Schriftführer), Berneckeweg 8, 72227 Egenhausen, Tel.: 07453/1453, Fax: 07453/910269, E-Mail: Klaus.Doennebrink@TMG-tuebingen.de, und Michael Franke (2. Vorsitzender), Laibernstraße 9, 72108 Hemmendorf, Tel.: 07478/261772, Fax: 07478/261773, E-Mail: Michael.Franke@TMG-tuebingen.de Internet: www.TMG-tuebingen.de Treffpunkt: Zoologisches Institut, Morgenstelle 28, 72074 Tübingen Termine: Meist donnerstags um 20:00 Uhr, siehe Programm

Mikroskopische Gesellschaft Wien Kontaktadresse: Peter Pavlicek, Zollernsperggasse 8/2/11, A-1150 Wien, Tel./Fax: 00 43 (0) 1/9 52 87 74, E-Mail: peter.pavlicek@aon.at Internet: www.mgw.or.at Treffpunkt: Räume der Mikrographischen Gesellschaft, Marinelligasse 10a, Wien 2 Termine: Dienstags um 19:15 Uhr

Mikroskopische Gesellschaft Zürich
Kontaktadresse: Felix Kuhn,
Waldmeisterstraße 12, 8953 Dietikon, Schweiz,
Tel.: 00 41 (0) 44/7 42 06 56,
E-Mail: felix.kuhn@surfeu.ch
Internet: www.mikroskopie.ch
Treffpunkt: Kurs- und Arbeitslokal im Kantonsschulhaus Freudenberg, Gutenbergstraße 15,
8002 Zürich (Lokal E 226).
Kurse, Praktika und Vorträge finden jeden Mittwoch
von 18:45 bis 22 Uhr statt, ausgenommen während
der Schulferien. Das Lokal ist ab 18 Uhr geöffnet.

Änderungen und Ausnahmen werden im Blatt

ziert.

Mikroskopische Nachrichten und im Internet publi-

Pollen aus der Sparbüchse – Florale Kegelschnitte und weitere Makro-/Mikromotive

Erich Lüthje

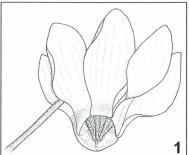
Du bist wie eine Blume – so hold, so schön, so rein... Nicht nur in Wort und Lied der Romantik, sondern auch in der botanischen Fachliteratur weht bisweilen ein Hauch von Blütenzauber – etwa in dem Klassiker Die Blüte von Dieter Heß (1983) oder in den Blütenbiologischen Beobachtungen von Armin Maidhof im MIKRO-KOSMOS (2010).

as unerschöpfliche Thema Blüte wird dem Liebhaber-Mikroskopiker immer wieder neue Erlebnisse und methodische Erfahrungen vermitteln – ein unvergleichlicher Vorzug unserer Zunft!

Mannschaftsaufstellungen am Rande der Mikroskopie

Ganz überwiegend beginnt die praktische Mikroskopie mit dem 4fach-Objektiv; bei Verwendung eines 10fach-Okulars ergibt sich eine lineare Vergrößerung von 11,2fach. Im Objektivrevolver stecken dann zumeist noch ein 10-, 16- oder 20fach- sowie ein 40fach-Objektiv. Ölimmersionen (60fach; 100fach) stehen einsatzbereit in Reserve, um die sprichwörtlich mikroskopischen Maßstäbe zu erzielen. Nennen wir dieses optische Ensemble einmal die A-Mannschaft.

Geringere Vergrößerungen fallen üblicherweise in den Bereich der Makro-Kamera. Kleinbild-Obiektive mit Brennweiten von 50 bis 20 oder 12,5 Millimetern ermöglichen bei meiner analogen Ausrüstung Vergrößerungen von unter 1× bis circa 20×. Etwa ab der dreifachen Vergrößerung konkurriert diese Makro-"U21" mit einer mikroskopischen B-Auswahl. In einem zweiten Objektivrevolver meines Mikroskops habe ich nämlich ein 1fach-, ein 2fach-, ein 2,5fach-, ein 4fach- sowie ein 6,3fach-Objektiv zusammengestellt. Die drei letztgenannten Objektive gehören nicht zur Hausmarke (Olympus), zeigen aber auch im Markenmix tadellose Ergebnisse. Bis auf das 2,5fach-Objektiv erhielten sie alle eine einfache Einlegeblende zur Erhöhung der Tiefenschärfe. Ein Vergrößerungswechsler (1x-1,5x-2x) erweitert die Skala der Maßstäbe (von 2,8:1 bis 18,4:1). Vor allem die fein abgestuften unteren Werte sind dabei von Interesse.





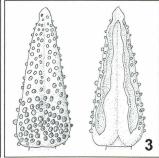
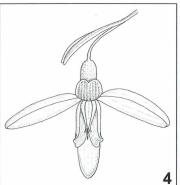
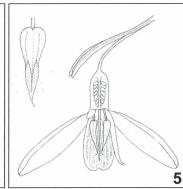


Abb. 1-3: Alpenveilchen. – Abb. 1: Blick in die Blüte (ca. 7 cm lang und breit). – Abb. 2: Blütenlängsschnitt, leicht vor der Mitte geführt. Breite der Blütenöffnung 9 mm, Stempel 7 mm lang, Breite des Fruchtknotens 1,5 mm. – Abb. 3: Staubgefäße (links: von außen, rechts: von innen). Länge 4,5 mm, Breite (im Bild oben) 2 mm.

Abb. 4 und 5: Blüte des Schneeglöckchens. –
Abb. 4: Vorderes inneres Perigonblatt aufgebogen gedacht.
Äußeres Perigonblatt 15 mm lang, 5,5 mm breit; innere Perigonblätter 8 mm lang; Staubblätter 5 mm lang. –
Abb. 5: Längsschnitt, vor dem Griffel geführt; rechtes inneres Perigonblatt längs angeschnitten, linkes unten schräg weggeschnit-

ten. Staubblatt 5 mm lang (ohne Faden), Theken noch geschlossen.





Der wesentliche Unterschied zwischen der Makro- und Mikro-Alternative liegt in der anwendbaren Beleuchtung. Das wird sich zeigen, wenn wir im Folgenden Blüten geeigneter Größe mit etwas anspruchsvollerem Innenleben untersuchen – in diesem Falle den zu einem Pollen-Streukegel ausgeformten Staubblättern.

Pollensparen mit dem Streukegel

Ein wesentlicher Faktor der Blütenevolution war bekanntlich die Verringerung des Pollenaufwandes bei gesicherter Bestäubung. Es sei nur an den Übergang von der Wind- zur Tierbestäubung erinnert. Einige Blüten scheinen ihren Besuchern den Blütenstaub geradezu knauserig hinzukrümeln. Als Bespiele standen mir Alpenveilchen (Cyclamen spec., kleinblütige Sorte), Schneeglöckchen (Galanthus nivalis) und Hornveilchen (Viola cornuta) zur Verfügung. Gemeinsam ist diesen drei Arten, dass sie ihre Staubblätter um den Griffel herumlegen und den Pollen aus dieser Umhüllung sparsam ausstreuen (Streukegel-Mechanismus). Heß (1983) stellt neben einer Fülle weiterer Beispiele Calluna vulgaris (Heidekraut) und Symphytum officinale (Beinwell) auf prächtigen Abbildungen vor. Insgesamt erwähnt er in seinem Buch sieben Pflanzenfamilien mit Streukegel-Blüten. Am Anfang meiner kleinen Blütenlese untersuchte ich zu Jahresbeginn 2011 das Alpen-

Am Anfang meiner kleinen Blütenlese untersuchte ich zu Jahresbeginn 2011 das Alpenveilchen (kleinblütige Zimmerpflanze). Wie beschrieben, bilden seine fünf Staubgefäße um den Griffel herum einen Streukegel (Abb. 1 und 2). Auf der Außenseite sind sie mit spektakulären Pocken besetzt (Abb. 3; Pollenimitation?).

Im Februar 2011 boten dann die Schneeglöckchen ihre Blüten dar. In Abbildung 4 ist das vordere innere (grünstreifige) Perigonblatt aufgebogen gedacht und gibt den Blick auf die fünf indischgelben Staubblätter frei. Abbildung 5 präsentiert den Streukegel im Längsschnitt sowie ein einzelnes der 5 Millimeter langen Staubblätter (ohne Filament gemessen). Fast eine Kopie des Alpenveilchens, möchte man meinen – aber verwandtschaftlich stehen sich das Primelgewächs *Cyclamen* (Primulaceae) und das Narzissengewächs *Galanthus* (Amaryllidaceae) recht fern!

Im März 2011 schließlich waren Hornveilchen (*Viola cornuta*; Violaceae) im Handel erhältlich – ein drittes Beispiel für die Streukegelbildung der Staubblätter, welches abermals ohne engere verwandtschaftliche Beziehung zu Alpenveilchen und Schneeglöckchen entstand.

Viola-Meditationen

Von seiner Arbeit an den Zeichnungen des Hornveilchens schrieb mir Hans Brogmus: Ich habe stundenlang beobachtet. Lange überlegte ich, wie ich den Blick in die Blüte zeichnen sollte. Beim Drehen und Wenden der zarten Blüte kam ich auf die Idee, die von den beiden Staubblättern ausgehenden Anhängsel (Zuckerstangen für die Insekten) so zu zeichnen, dass man erkennen kann, wo sie in ihre Speisekammer (Sporn) hineinwachsen. (Mein figurativer Sprachgebrauch ist nicht vom stimulierenden Veilchenduft, sondern von einem FAZ-Artikel über die Vielfalt der Schneeglöckchen-Sorten initiiert worden.) Angesichts der hellbraunen "Tiroler Hüte" fühlte ich mich an die Peristome

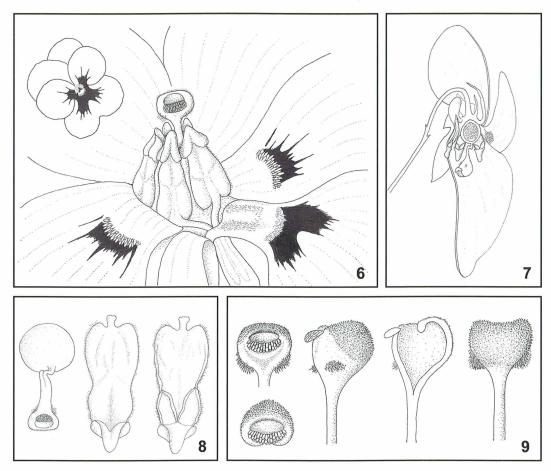


Abb. 6-9: Hornveilchen. – **Abb. 6:** Einzelblüte (oben links) 3,5 × 3,5 bis 4 × 4 cm. Mitte: Zentrum aus der Perspektive eines von schräg unten anfliegenden Insekts (Antheren und Griffel leicht überhöht dargestellt). Die vorderen zwei Staubblätter entsenden einen Fortsatz in den Sporn (dort gepunktet angedeutet). – **Abb. 7:** Blütenlängsschnitt; in der Mitte der Fruchtknoten. Gesamtlänge (hier von oben nach unten) 3,5 Zentimeter. – **Abb. 8:** Antheren und Stempel. Fruchtknoten 2,2 mm breit. – **Abb. 9:** Griffelende mit Narbe. Breite 1,2 mm.

der Moose erinnert. – Die Narbe ist ganz und gar hohl und an den Innenwänden klebrig. Die ausgestreckte "Zunge" wirkt auch wie eine offen stehende Dachluke. Vielleicht war da anfangs eine Sollbruchlinie, an der das Aufklappen begann. Aber in einer noch nicht geöffneten Blüte ist die Öffnung schon vorhanden. Die Pollensäcke waren oberseits offen, die oberen Teile der Staubgefäße lagen wie ein Stehkragen an und hielten wohl den Pollen zurück. Die Narbe ist oben und hinten stark papillös und wirkt wie ein Stoppelschnitt. Die "Backenbärte" sind lang ausgezogene Papillen. Die Krümmung am Fuß des Griffels erinnert an

die S-förmige Wirbelsäule der Schimpansen (Federung?).

Man muss wohl Zeichner sein, um die Konstruktion einer Blüte so bildhaft erfassen und beschreiben zu können!

Abbildung 6 gibt die suggestive Wirkung der Blütensignale eindrucksvoll wieder, welche das Insekt auf den Weg zum Nektar (und damit zur Pollenaufnahme und -abgabe) führen sollen. Links oben eine Blüte im natürlichen Zustand, während das Hauptbild aus der Perspektive eines von schräg unten anfliegenden Insekts zu sehen ist. Die drei Kronblätter mit Strichmalen sind nach außen weggezogen. Die kompliziert

gebaute Narbe ist nach unten geöffnet, und der nektarführende Sporn erstreckt sich rechts in den Bildhintergrund; darin angedeutet die Nektarien (Fortsätze zweier Staubblätter).

Abbildung 7 präsentiert die Blüte im Längsschnitt; den Streukegel stellt der Zeichner hier geöffnet dar. Die orangenen Fortsätze liegen, wie eine Musterung verschiedener Blüten zeigt, nicht in jedem Falle eng am Griffel. Fast wie ein Mummenschanz mutet die Einzeldarstellung der Antheren in Abbildung 8 an. Links ist ein Staubblatt von innen, in der Bildmitte von außen dargestellt. Ihre hellbraunen Anhängsel liegen dem Griffel flach ausgebreitet an. Die hellgelben Theken sind oben offen.

Nicht weniger skurril ist der Stempel (Abb. 8 rechts): Sein Fruchtknoten ist 2,2 Millimeter breit, die Länge des Griffels liegt zwischen 1,8 und 2,5 Millimetern. Der seltsam geformten Narbe ist eine eigene Zeichnung gewidmet. Abbildung 9 zeigt sie links von vorn und von oben, dann seitlich, im Längsschnitt und von hinten. Ihre Breite beträgt 1,2 Millimeter. Sie ist hohl, enthält eine Flüssigkeit und trägt am Rand des Grübchens stellenweise Papillen (wie eine Zunge). Wie wirkt dieses hochentwickelte Instrumentarium nun bei einem Insektenbesuch zusammen?

Blütenbesuch beim Veilchen

Für eine nahe Verwandte des Hornveilchens mit vergleichbarer Blütenkonstruktion, das Waldveilchen (Viola reichenbachiana), schildert Heß (1983) ein Rendezvous mit dem Blütenbesucher folgendermaßen: Hier bildet das untere Kronblatt einen Sporn, die beiden oberen eine Fahne. Über dem Blüteneingang steht ein Streukegel aus 5 Staubbeuteln und dem Griffel. Die zwei unteren Antheren besitzen je einen Konnektivfortsatz, der in den Sporn hineinragt und dort Nektar absondert. In der Mitte des Streukegels befinden sich zu beiden Seiten des Blüteneingangs Haare.

Die besuchenden Bienen oder Hummeln landen auf dem unteren Kronblatt oder auf den zurückgebogenen beiden oberen Kronblättern. Ein heller, von dunklen Streifen durchzogener Fleck auf dem unteren Kronblatt dient als Farbmal. Die Haare zu beiden Seiten des Eingangs richten die Bewegung des in die Kronröhre eingeführten Rüssels auf die Narbe zu aus. Der Rüssel berührt die Narbe und be-

stäubt sie gegebenenfalls. Ein auf der Narbe sitzender Flüssigkeitstropfen feuchtet den Rüssel an.

Zur Konstruktion des Streukegels bleibt hier noch nachzutragen, dass die Narbe beweglich ist und dass die Konnektive der Staubbeutel nach vorn gerichtete, orangefarbene Fortsätze besitzen. Durch sie wird der mit Pollen gefüllte Hohlraum des Streukegels noch vergrößert. Wenn der Insektenrüssel die Narbe berührt, bewegt sie sich nach oben. Die Bewegung überträgt sich auf die Konnektivfortsätze. Ihr bislang fester Zusammenschluß lockert sich und etwas Pollen fällt herab. Auf dem angefeuchteten Rüssel haftet er bestens.

Dieser Ablauf dürfte ohne wesentliche Abstriche auf *Viola cornuta* übertragbar sein.

Das Ei des Kolumbus – scheibchenweise

Für fotografische Einblicke in das Innenleben der Blüten waren zunächst einmal geeignete Schnitte erforderlich. Schlichte Längshalbierung ergab zumeist zu dicke Präparate und ermöglichte allenfalls Auflichtbilder mit Makro-Optik. Mir lag jedoch aus bildnerischen Gründen vornehmlich an einer Effektbeleuchtung von hinten. Dafür brauchte ich zentrale, parallelseitige Scheibchen der Blüten. Eine derartige Tranche war mit zwei nacheinander geführten Schnitten kaum zu erzielen. Als Ei des Kolumbus kam mir in diesem Fall die Konstruktion des Eierschneiders in den Sinn, mit dem man ein gekochtes Ei in viele gleichstarke Scheiben zerlegt. Ich nahm zwei Rasierklingen, legte ein Pappstückchen dazwischen und fügte sie an ihrer Oberseite mit zwei Büroklammern fest zusammen (Abb. 10). Mit dieser Doppelklinge gelangen - wenngleich keineswegs immer mediane Ausschnitte von etwa 1 Millimeter

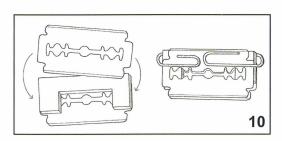


Abb. 10: Doppelklinge für scheibchenförmige Blütenausschnitte.

Stärke, die dem Betrachter einen räumlichen Eindruck des Blüteninneren vermitteln können. Eine bedachte Lichtführung unterstützt diese Wirkung.

Makro gegen Mikro

In der Regel sind die Blütenausschnitte wegen ihrer Zartheit relativ transparent. Durchfallendes Licht aus dem Hintergrund bietet sich daher an. Für die (am Senkrechtstativ installierte) Makrokamera erzielte ich ein homogenes Dunkelfeld, indem ich die auf einem Objektträger liegenden Präparate (ohne Einbettung und Deckglas) mit zwei Blitzen schräg von unten beleuchtete. Das ergab – bei zutreffender Belich-

tungskorrektur – gleichmäßig ausgeleuchtete, farbkräftige Bilder wie zum Beispiel Abbildung 11 vom Streukegel des Schneeglöckchens. Bei diesem Schnitt gelang es, den Griffel unversehrt zu erhalten. Lediglich eines der Staubblätter scherte bei der Entnahme der Tranche aus dem Zwischenraum der Doppelklinge etwas aus der Ideallinie aus. Innen- und Außenkrone bewahrten bei der Übertragung auf den Objektträger ihre Position. Im schräg durchfallenden Hintergrundlicht leuchten der weiße Außenkelch, ein Saum des Innenkelchs sowie die Spitzen der Staubblätter stimmungsvoll auf.

Abbildung 12 stellt als Gegenbeispiel eine Mikroaufnahme des Zimmer-Alpenveilchens mit 2×-Objektiv und Einlegeblende dar. Das linke Staubblatt ist beim Schnitt verkürzt

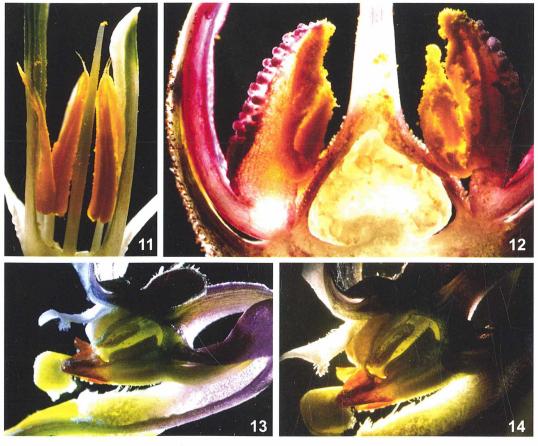


Abb. 11: Schneeglöckchen. Makroaufnahme mit Zeiss-Luminar 40 mm; Vergr. ca. 7fach. – Abb. 12: Alpenveilchen. Mikroaufnahme mit 2fach-Objektiv/Vergrößerungswechsler 1,25× Vergr. ca. 21 fach. – Abb. 13: Hornveilchen, Makroaufnahme mit Zeiss-Luminar 40 mm. Vergr. ca. 12 fach. – Abb. 14: Hornveilchen, Mikroaufnahme mit Objektiv 2×. Vergr. ca. 13 fach.

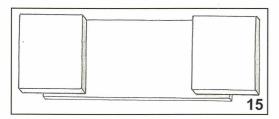


Abb. 15: Deckglas mit Pappecken; als dünner Objektträger verwendbar.

worden. Die Lichtführung konnte am Kreuztisch so gestaltet werden, dass sich mittlerer und linker Bildabschnitt – somit Zentrum (Fruchtknoten und Griffel), Staubblatt und Blütenhülle – vom verdämmernden rechten Bildrand abheben und den Blick von dort wieder auf sich ziehen.

Beim Hornveilchen schließlich haben wir in Abbildung 13 ein Makrofoto, in Abbildung 14 eine Mikroaufnahme vor uns. Die Vergrößerung ist in beiden Fällen etwa gleich (Original 5-6fach). Schon die homogene Blitzbeleuchtung der Makroinstallation erzeugt ein vielseitiges Lichtspiel im Inneren der Blüte (veilchenblaues Durchlicht in unterschiedlicher Abstufung, weiß abgesetzte Konturen, helle Reflektionen auf dem Kronblatt, formgebende Helligkeitsnuancen an der Narbe). Freilich ist das (bei analoger Fotografie) nicht im Detail vorhersehbar. Anders die Situation am Mikroskop: Hier konnte ich das Licht durch die Ausrichtung des Kondensors wunschgemäß auf den thematisch wichtigen Ausschnitt lenken.

Änderungen, die dem Fortschritt dienen

Für das Dunkelfeld am Mikroskop standen Dunkelfeldkondensor oder Hellfeldkondensor mit Zentralblende zur Wahl und damit entweder ein tiefschwarzer Hintergrund oder ein variabler Ton, jedoch kein reines Schwarz. Bekanntlich ist am regulären Dunkelfeldkondensor eine zentrale Leuchtfläche zu erzielen oder diese – durch Anhebung – auszudehnen, bis in der Mitte eine dunkle Zone erscheint. Bei den räumlichen Blütenausschnitten war mir daran gelegen, nicht nur helle Konturen zu erhalten, sondern das Streiflicht weiter um das Präparat herumzuführen. Dazu musste der Lichtraum höher gelegt werden – was indes durch den An-

schlag des Kondensorhalters nicht beliebig möglich war.

Hier halfen drei kleine Eingriffe in den üblichen mikroskopischen Geschäftsgang weiter. Zunächst einmal konnte das Präparat seinerseits dem Lichtbereich etwas entgegenkommen – wenn ich den "dicken" Objektträger (ca. 1 mm) durch ein 24 × 70 mm großes Deckglas ersetzte. Mit zwei aufgeleimten Pappstückchen brachte ich das Glas auf Objektträgerformat und machte es somit für die Halterung greifbar (Abb. 15). Nun konnte ich es am Kreuztisch wie einen normalen Objektträger führen.

Noch geringer wurde die Distanz Dunkelfeldkondensor/Präparat, als ich den Kondensor seiner Halterung entnahm und ihn lose darauf stellte. Die Frontlinse des Hellfeldkondensors (mit Zentralblende) konnte sogar auf diese Weise das Träger-Deckglas direkt berühren.

Und letztlich: Waren die Kondensoren in ihrer Halterung befestigt, mussten bildwichtige Teile mit dem Kreuztrieb in die Lichtzone gebracht werden. Das führte aber in etlichen Fällen zu einer Beeinträchtigung der Bildkomposition. Aus seiner Fassung befreit, konnte der Kondensor indes um einiges aus der Zentralachse hinausgeführt werden. Damit wanderte die Lichtzone über das Präparat, welches selbst in der gewünschten Position verblieb. Alle drei Maßnahmen erlaubten bühnenreife Beleuchtungseffekte, die sich von der homogenen Blitzbeleuchtung deutlich abhoben.

Man muss ja nicht streiten, welche Variante die besseren Ergebnisse erzielt – vielmehr ist es eine Freude, über beide Alternativen zu verfügen!

Von farbig zu bunt

Über das Thema "Streukegel-Staubblätter" hinaus mögen noch einige weitere Aufnahmen die kleinen, aber feinen Verbesserungen dokumentieren, welche durch den "verdünnten" Objektträger und den hochgestellten, aus der optischen Achse verschiebbaren Kondensor bei der Mikroskopie mit geringer Vergrößerung zu erzielen sind. Zudem brachte ich noch farbig gestreifte Diagläser ins Spiel, welche ich auf der Leuchtfeldblende hin- und her schob. So ließen sich bestimmte Bildausschnitte gegenüber anderen farbig hervorheben. Von diesem pädagogischen Effekt bis zur knallbunten Effekthascherei war es freilich nicht weit – aber schön anzusehen allemal.

Abbildung 16 zeigt einen Doppelklingenschnitt der Blüte von *Scilla bifolia* (Zweiblättriger Blaustern). Dank des hochgestellten Hellfeld-Kondensors (mit Zentralblende) wird der Fruchtknoten plastisch ausgeleuchtet (Weißlicht). Der Hintergrund liegt in sanftem Grau. Ebenso wurde eine mediane Tranche der Scharbockskrautblüte fotografiert (*Ranunculus ficaria*); hier allerdings zusätzlich mit Farbglas auf der Leuchtfeldblende (Abb. 17). So war es möglich, die Staubgefäße rot hervorzuheben. Mit dem originären Dunkelfeldkondensor (frei auf der Fassung geführt) ergibt sich in Abbil-

dung 17 ein rein schwarzer Untergrund (Abb. 18: Leberblümchen; Gartenform).

Schließlich noch ein Beispiel aus der Insektenwelt: Die Taufliege *Cacoxenus indagator*, regelmäßiger Parasitoid meiner Wildbienen an ihren Nisthilfen, ist nur 3,3 Millimeter lang. Aber mit freiem Dunkelfeldkondensor, 2fach-Objektiv (Vergrößerungswechsler 1,25×) und Buntlicht wird der unscheinbar graue Zweiflügler fast bis zur Unkenntlichkeit verschönt (Abb. 19). Indes bändigt der tiefschwarze Untergrund beruhigend das schillernde Farbenspiel. Dank des "tiefgelegten" Objektträgers (Deckglas)

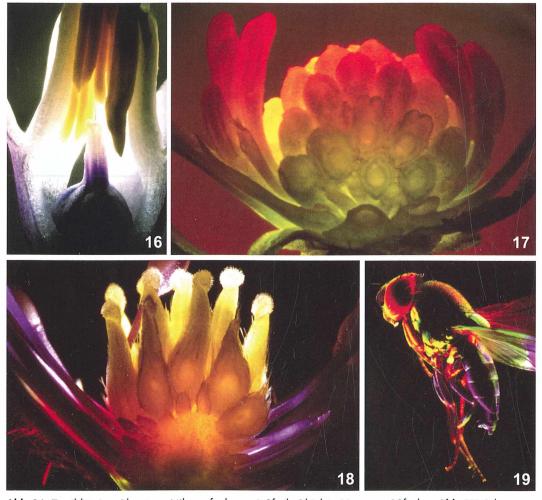


Abb. 16: Zweiblättriger Blaustern; Mikroaufnahme mit 2fach-Objektiv. Vergr. ca. 12fach. – Abb. 17: Scharbockskraut; Mikroaufnahme mit 2x-Objektiv, Hellfeldkondensor/Zentralblende und Buntlicht. Vergr. ca. 23fach. – Abb. 18: Leberblümchen (Gartenform); Mikroaufnahme mit 2x-Objektiv, Dunkelfeldkondensor und Buntlicht. Vergr. ca. 14fach. – Abb. 19: Parasitische Taufliege; Mikroaufnahme mit 2fach-Objektiv/Vergrößerungswechsler 1,25x, Dunkelfeldkondensor und Buntlicht. Vergr. 13fach.

bleiben an Auge, Thorax und Abdomen nurmehr die zentralen Aufwölbungen unbeleuchtet, was dem Motiv bei aller Buntheit einen Hauch von Edelbitter verleiht.

Dank

Wieder einmal griff Hans Brogmus (Bielefeld) zum Zeichenstift und fertigte die erbetenen Illustrationen an. Für seine Mühe auch an dieser Stelle herzlichen Dank!

Literaturhinweise

Heß, D.: Die Blüte - Eine Einführung in Struktur und Funktion, Ökologie und Evolution der Blüten. Mit Anleitungen zu einfachen Versuchen. Ulmer, Stuttgart 1983.

Maidhof, A.: Blütenbiologische Beobachtungen mit Lupe und Mikroskop. Mikrokosmos 99, Teil 1: 2–7; Teil 2: 83–87; Teil 3: 193–197; Teil 4: 269–273; Teil 5: 321–324 (2010).

Albrecht, J.: Noch eins auf die Glocke. Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung Nr. 8, Februar 2011, 58 und 61.

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

Kurze Mitteilung

Nabel einer anderen Welt: Das Belly Button Biodiversity Project



Abb. 1: Das könnte Ihr Bauchnabel sein, Wohnort (Habitat) Tausender von Mikroorganismen.



Abb. 2: Agarplatten mit Bauchnabel-Mikrobenkolonien (Bild: www.wildlifeofyourbody.org/).

Haben Sie schon einmal das Gefühl gehabt, nicht ganz Sie selbst zu sein? Dieses Gefühl entspricht den Tatsachen! Nur ein Teil unseres Körpers besteht aus menschlichen Zellen, die restlichen machen die volumenmäßig sehr viel kleineren Bakterien und Archaeen aus. Allein etwa 1.000 verschiedene Arten bevölkern den Darm. Viele dieser Organismen sind vorteilhaft für "ihren" Menschen, liefern beispielsweise Vitamine, helfen bei der Verdauung oder schützen vor schädlichen Bakterien, bisweilen alleine dadurch, dass sie - "die Guten" - bereits in großen Mengen vorhanden sind und so die Besiedlung mit weiteren Formen erschweren.

Auch unsere Haut ist dicht besiedelt.

Der Untersuchung eines speziellen Habitats der Haut, nämlich des Bauchnabels (Abb. 1), haben sich Wissenschaftler des - man glaubt es kaum - Belly Button Biodiversity Projects

(Bauchnabel-Biodiversitäts-Projekt) an der Carolina State University in Raleigh verschrieben. Sie entnahmen Hunderten von Menschen Proben und fanden dabei bereits mehr als 1.400 verschiedene Mikroorganismen, wovon etwa die Hälfte noch unbekannt war. Weitere Freiwillige für eine Nabelschau der Mikroben werden noch gesucht. Mit einem Wattestäbchen wird der Bauchnabel ausgewischt, die daran in Puffer abgeanhaftenden Mikroben schwemmt und dann auf Nähragarplatten ausgestrichen. Schon nach kurzer Zeit beginnen die Zellen auf diesem Nährboden zu wuchern. Verschiedenste, nicht immer unbedingt appetitlich aussehende Muster von Bakterien- und Pilzkolonien entstehen. Auf einer Webseite dürfen die Freiwilligen ihren Zellen beim Wachsen zuschauen (Abb. 2).

Redaktion MIKROKOSMOS

Naghrighten

Die Natur nutzt Schrauben und Muttern: Rüsselkäfer mit Schraubengewinde als Gelenk

Ein bislang im Tierreich unbekannter Bewegungsapparat wurde jetzt bei Rüsselkäfern entdeckt. Die Hüfte von *Trigonopterus oblongus* besitzt nicht wie gewöhnlich Scharniergelenke, sondern Gelenke, deren Teile wie Schraube und Mutter ineinander greifen. Dieses erste biologische Schraubengewinde ist rund einen halben Millimeter groß und wurde mittels Synchrotronstrahlung sehr detailliert untersucht. Das Fachmagazin Science berichtet in seiner aktuellen Ausgabe von der Entdeckung (DOI:10.1126/science.1204245).

Eine solche Konstruktion für die Beinbewegung bei Tieren ist schon sehr ungewöhnlich, denn hier bewegen sich großflächig Skelettteile aufeinander. Die Versorgung des Beins kann nur durch eine winzige Öffnung im Zentrum der Schraube geschehen, sagt Thomas van de Kamp vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT). In der Natur sind in der Regel Kugel- oder Scharniergelenke an Hüften und Schultern im Einsatz, welche für Organismen wesentlich leichter umsetzbar sind. Schrauben und Muttern dagegen kannte man bislang nur aus der Technik, meist um Bauteile fest miteinander zu verbinden. Nun zeigt sich aber, dass uns die Natur auch bei der Erfindung von Schraube und Mutter zuvor gekommen ist, denn Rüsselkäfer laufen wahrscheinlich bereits seit etwa 100 Millionen Jahren mit einer derartigen Konstruktion herum, vermutet Alexander Riedel vom Staatlichen Museum für Naturkunde Karlsruhe, aus dessen Sammlung die untersuchten Exemplare der Rüsselkäfer stammen (Abb. 1). Die detaillierten dreidimensionalen Bilder der Gelenke entstanden an der Nationalen Synchrotronstrahlungsquelle ANKA am KIT (Abb. 2).

Rüsselkäfer sind zwar in der Regel schwerfälliger als viele andere Käferfamilien, wie etwa die Laufkäfer. Aber die Transformation eines Scharniergelenks in ein Schraubengelenk ermöglichte ihnen, mit ihren Beinen weiter nach unten greifen zu können, was sie zu besseren Kletterern machte. Der hier untersuchte Rüsselkäfer *Trigonopterus oblongus* lebt auf Laub und Zweigen in den Urwäldern Papua-Neuguineas. Zum Fressen bohrt er seinen Rüssel ins Pflanzengewebe und hält sich dabei mit den Beinen fest. Vermutlich bietet das Schraubengelenk auch dabei Vorteile.

Wir haben mittlerweile verschiedene andere Rüsselkäferarten untersucht und tatsächlich immer Schraubengelenke gefunden, erklären Riedel und van de Kamp. Das Gelenk scheint offenbar bei allen Rüsselkäfern vorzukommen, von denen ein enormer Artenreichtum von weltweit mehr als 50.000 verschiedenen Spezies bekannt ist. In diesem Fall hätte das Forscherteam mit dem Schraubengelenk ein bisher unbekanntes Basismerkmal der ganzen Familie der Rüsselkäfer identifiziert. Zu den bekanntesten in

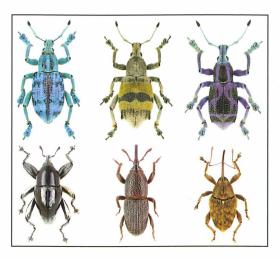


Abb. 1: Rüsselkäfer bilden eine verbreitete und artenreiche Familie. Den verschiedenen, teils farbenprächtigen Arten gemein ist die rüsselartige Verlängerung des Kopfes (Bilder: Staatliches Museum für Naturkunde, Karlsruhe).

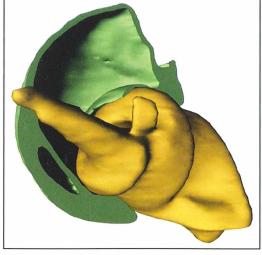


Abb. 2: Wie Schraube und Mutter passen die beiden Teile des Hüftgelenkes des Rüsselkäfers zusammen. Dadurch erhöht sich die Beweglichkeit des Beines (Bild: KIT).

Deutschland heimischen Vertretern zählen der Haselnussbohrer und der Eichelbohrer, außerdem der Kornkäfer, ein Getreideschädling.

Die dreidimensionalen Bildrekonstruktionen des rund einen halben Millimeter großen Gelenks von Trigonopterus oblongus wurden mit Hilfe eines neu installierten Mikrotomographen der Synchrotronstrahlungsquelle ANKA erzeugt. Damit erweitert das KIT derzeit gezielt sein Ensemble leistungsfähiger bildgebender Synchrotronmesstechniken auch für breite Anwendungen in den Lebenswissenschaften, erläutert Tilo Baumbach, Leiter der Synchrotronstrahlungsquelle ANKA. Externen Nutzern stehen nun von den langwelligen Terahertzstrahlen bis hin zu der hier verwendeten hoch brillanten Röntgenstrahlung modernste Mittel zur Verfügung.

Redaktion MIKROKOSMOS

Neue Befunde zur Herkunft der Kastanienminiermotte

Die Kastanienminiermotte (Abb. 1-3) lebte schon 1879 am natürlichen Standort der Rosskastanie in Griechenland. Der hochinvasive Schädling kam damit bereits mehr als 100 Jahre vor seiner wissenschaftlichen Entdeckung am Balkan vor. Zu diesem Ergebnis kommt die aktuelle Studie eines internationalen und interdisziplinären Teams um David Lees (Institut National de la Recherche Agronomique, Frankreich und Natural History Museum, London) und H. Walter Lack (Botanischer Garten und Botanisches Museum, Freie Universität Berlin) aufgrund einer Analyse von Herbarbelegen. Sie beenden eine 20-jährige Debatte zur Herkunft der Kastanienminiermotte und deren Invasion in Europa. Für den blattminierenden Schädling ist ein Ursprung am Balkan jetzt sicher. Die Ergebnisse wurden bereits in der Online-Ausgabe von Frontiers in Ecology and the Environment, dem wissenschaftlichen Journal der Ecological Society of America, am 21. Juni 2011 publiziert. Sie erschienen ebenso in der gedruckten Augustausgabe.

Zeitreise zu historischen Miniermottenlarven in Herbarien

Für diese Studie wurden Herbarbelege der Rosskastanie – der Wirtspflanze der Kastanienminiermotte - in verschiedenen botanischen Institutionen Europas untersucht. Überraschenderweise wurden in den Rosskastanienblättern viele Larven der Kastanienminiermotte gefunden, die unbeabsichtigt mit den Pflanzenteilen gepresst und konserviert wurden. Die älteste Raupe befand sich in einem Herbarbeleg, der 1879 in Griechenland gesammelt wurde. Das sind über 100 Jahre bevor die Kastanienminiermotte in Europa bekannt wurde. Durch eine genetische Analyse der Erbinformationen aus Zellkern und Mitochondrien der Raupen konnten die Wissenschaftler eindeutig beweisen, dass die historischen Raupenfunde zur Kastanienminiermotte zählen. Weiterhin wurde die genetische Variabilität von historischen Mottenpopulationen aus Herbarbelegen mit derjenigen von heutigen Populationen verglichen. Die Studie zeigt auf, dass Herbarien bisher zu wenig genutzt werden für die Untersuchung der Beziehungen zwischen Pflanzen und Insekten, der Vielfalt von Pflanzenschädlingen, der Untersuchung des Ursprungs von invasiven Arten und der Dokumentation historischer Verbreitung von Arten. Herbarien sind wissenschaftliche Sammlungen gepresster und getrockneter Pflanzen und somit relevante Quellen, um moderne Probleme wie invasive Arten, Schädlinge und Krankheiten zu lösen sowie den Wandel innerhalb der Biodiversität im Verlaufe der Zeit und des Raumes zu belegen können.







Abb. 1: Kastanienblatt mit fortgeschrittenen Fraßschäden durch Larven der Kastanienminiermotte im Sommer (Foto: Sylvie Augustin). – Abb. 2: Larve (Foto: Werner Heitland). – Abb. 3: Geschlüpfte Motte (Foto: David C. Lees).

Neue Fakten zum Ursprung der Kastanienminiermotte

Wissenschaftler haben lange debattiert, ob die Kastanienminiermotte möglicherweise aus Südostasien eingeschleppt wurde. Auch ein Wirtswechsel des Schädlings von Platanen oder Ahornen zur Rosskastanie erschien bislang eine mögliche Erklärung. Die vorliegende Studie beweist jedoch, dass die Kastanienminiermotte ihren Ursprung am Balkan hat und wiederlegt frühere Theorien. Einerseits zeigen die untersuchten Raupen am Balkan eine höhere genetische Variabilität auf, als bisher bekannt war. Andererseits stammen die ältesten Raupen von Herbarbelegen der Rosskastanie aus Zentralgriechenland und Albanien, dem Wildstandort der Baumart.

Die Studie zeigt weiterhin auf, dass eine Massenvermehrung der Kastanienminiermotte und deutliche Schadensbilder an den Blättern der Rosskastanie nicht erst ein Phänomen der letzten Jahre ist. Herbarbelege beweisen, dass dieses Phänomen bereits seit 1961 besteht. Das Wissenschaftsteam postuliert, dass die Kastanienminiermotte lange Zeit in isolierten Populationen in sehr unzugänglichen Schluchtwäldern des Balkans lebte. Erst durch die späte Entwicklung von Straßen am Balkan wurde eine Verbreitung der Schädlinge ermöglicht. Als "blinde Passagiere" könnten die Kastanienminiermotten an Fahrzeugen vom natürlichen Standort zu kultivierten Standorten der Rosskastanie gelangt sein.

Invasion der Kastanienminiermotte

Die kleine aber hoch invasive Kastanienminiermotte (Cameraria ohridella) wurde zuerst 1984 an kultivierten Rosskastanien um den Ohridsee in Mazedonien entdeckt. 1986 wurde die Art wissenschaftlich beschrieben in einer für Europa neuen Gattung. Seit 1989 eroberte die Miniermotte einer Invasion gleich fast ganz Europa. Ihre Raupen entwickeln sich auffällige Blattschäden verursachend in den Blättern der weißblühenden Rosskastanie (Aesculus hippocastanum), welche ursprünglich auf dem Balkan (Albanien, Griechenland, Mazedonien) vorkommt und seit dem 17. Jahrhundert aufgrund ihrer attraktiven Belaubung und Blüten gerne in Parkanlagen, Gärten und Straßen in ganz Europas kultiviert wird.

Weitere Auskünfte erteilt Prof. Dr. H. Walter Lack, Botanischer Garten und Botanisches Museum Berlin-Dahlem, Freie Universität Berlin, Königin-Luise-Str. 6–8, 14195 Berlin, Tel. 0 30/83 85 01 36, E-Mail: h.w.lack@bgbm.org

Literaturhinweis

Lees, D. C., Lack, H. W., Rougerie, R., Hernandez-Lopez, A., Raus, T., Avtzis, N., Augustin, S., Lopez-Vaamonde, C.: Tracking origins of invasive herbivores through herbaria and archival DNA: the case of the horse-chestnut leaf miner. Frontiers in Ecology and the Environment (2011). doi:10.1890/100098 (verfügbar über http://dx.doi.org)

Redaktion MIKROKOSMOS

Kurze Misseilung

Das oszillatorische Wachstum von Pollenschläuchen

Pollenschläuche sind Modelle für das Spitzenwachstum pflanzlicher Zellen (Winship et al., 2010). Sie wachsen sehr schnell. Die Wachstumsraten oszillieren allerdings dabei stark, bis zum Sechsfachen, in Perioden von 20-50 s. Oft hat man vermutet, dass diese periodischen Schwankungen des Wachstums an der Pollenschlauchspitze durch periodische Schwankungen des Turgordrucks verursacht werden. Sicherlich ist ein hoher Turgordruck eine Voraussetzung für das Wachstum überhaupt. Es gibt nun aber Methoden, den internen Turgordruck direkt zu messen. Solche Messungen haben ergeben, dass der Turgordruck nicht im Rhythmus des Wachstums oszilliert. Er ändert sich auch kaum, wenn sich die Wachstumsrate im Allgemeinen ändert – von Extremen abgesehen. Lokale Modifikationen des Turgordrucks, vielleicht verursacht Umorientierungen des Cytoskeletts, scheint es ebenfalls nicht zu geben.

Dahingegen schwankt die Menge des in die Pollenschlauchspitze sezernierten Wandmaterials dramatisch in Zusammenhang mit dem oszillatorischen Wachstum. Dabei wird mehr Wandmaterial sezerniert, bevor der Pollenschlauch schneller wächst. Auch die Steife der Zellwand im Spitzenbereich verändert sich im Takt mit dem Wachstum. Die Wand wird etwa 10 s bevor die Wachstumsgeschwindigkeit zunimmt, weicher. Das polare Wachstum der Pollenschläuche und wohl auch anderer Zellen mit Spitzenwachstum hängt also von den viskoelastischen Eigenschaften der Zellwand ab.

Literaturhinweis

Winship, L. J., Obermeyer, G., Geitmann, A., Hepler, P. K.: Under pressure, cell walls set the pace. Trends Plant Sci. 15, 363–369 (2010).

Eberhard Schnepf, Heidelberg

Korallenskelette unter dem Makroskop

Rudolf Drews

Dolomiten und Dachsteinmassiv als Zeugen paläozoischer und mesozoischer Korallenriffe, das mehrere Tausend Kilometer lange Barriereriff Australiens und das 240 Kilometer lange Wallriff vor Belizes Küste sind das Ergebnis der Bautätigkeit von Kolonien oft nur wenige Millimeter großer Korallenpolypen.

ast alle Korallenriffe der Welt kommen innerhalb der 20° Isochryme (= Linien gleicher Wassertemperatur) vor, das heißt dort, wo die mittlere Wintertemperatur 20 °C nicht unterschreitet. Nur wenige Arten sind auch im kalten Ozean von 70-2.000 m Tiefe zum Riffbau befähigt. In den warmen Meeren sind insbesondere die Ostküsten der Kontinente und größerer Inseln infolge warmer Meeresströmungen reich an Korallenriffen, sofern Süßwasserzufluss (Beispiel Amazonas) dieses nicht verhindert. Zudem ist fast die gesamte Küste des Roten Meeres einschließlich des Golfes von Agabah von Korallen gesäumt (Abb. 1). Die am Aufbau eines Riffes hauptsächlich beteiligten Korallen sind die Steinkorallen (Madreporaria; Abb. 2).

Die Steinkorallen bilden eine Ordnung innerhalb der sechsstrahligen Korallen (Hexacorallia). Die achtstrahligen Octocorallia werden durch Weich- und Fächerkorallen vertreten, welche nur unbedeutend zur Riffbildung bei-

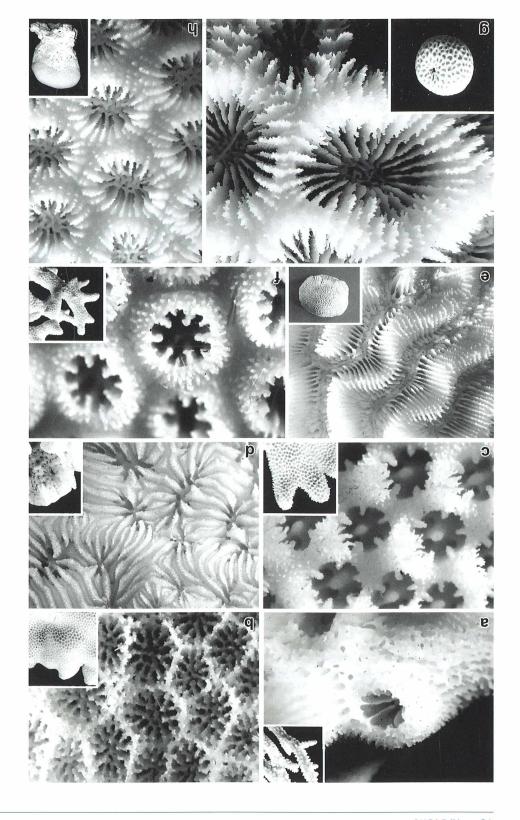
tragen. Hexa-und Oktokorallen werden in der Nesseltierklasse Anthozoa (Blumentiere) zusammengefasst. Unter den Hydrozoen - ebenfalls eine Klasse der Nesseltiere - gibt es steinkorallenähnliche Formen (Hydrokorallen), die wegen ihrer stark nesselnden Eigenschaft berüchtigt sind (Feuerkorallen, Milleporiden). Die überwiegende Zahl der Steinkorallen bildet Korallenstöcke aus wenigen größeren bis vielen Tausend winzigen Einzelpolypen. Die Form eines Steinkorallenstocks beziehungsweise des Skelettes ist art-, licht- und strömungsabhängig. Es gibt pilz- und kugelförmige, fächer-, krusten-, geweihartige, wenig oder vielfach verzweigte und knollige Stöcke. Ein Stock entsteht durch fortwährende Knospung, wobei Knospungsweise und Richtung die Stockgestalt bestimmen.

Prinzipiell unterscheidet man die intratentakuläre (intrathekale) von der extratentakulären (extrathekalen) Knospung. Knospen können auch aus dem Gewebe entstehen, welches das





Abb. 1: Korallengarten im Golf von Agabah (Rotes Meer). – **Abb. 2:** Korallenstock (*Acropora*) mit ausgestreckten Polypen. Die Pink-Färbung kommt durch koralleneigene Pigmente zustande, die Braunfärbung durch die symbiotischen Zooxanthellen.



■ Abb. 3: Stereomikroskopische Aufnahmen der Oberfläche verschiedener Steinkorallenskelette. Zu sehen sind ein bis mehrere septierte Bereiche, welche den ursprünglichen Sitz der Korallenpolypen anzeigen. Die eingesetzten Bilder geben die Wuchsform des Korallenstocks wieder. Natürliche Größe des Ausschnitts 1–2 cm (Abb. 3d, e, g, h), oder wenige mm (Abb. 3a, b, c, f). Gattungen: a Acropora, b Porites, c Stylophora, d Pavona, e Platygyra, f Stylophora (?), g Favites, h Favia. Alle Indopazifik.

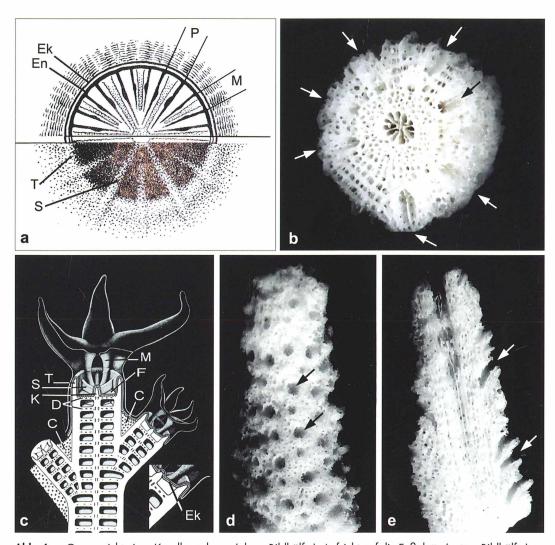


Abb. 4: a Queransicht eines Korallenpolypen (obere Bildhälfte), Aufsicht auf die Fußplatte (untere Bildhälfte). Ek Ektoderm, En Entoderm, M Zwischenfach, P Primärfach, S Septum, T Theka. Lebendes Gewebe schwarz (nach Eibl-Eibesfeldt, 1982). b Querschliff durch ein junges Aststück einer verzweigten Steinkoralle. Pfeilspitzen weisen auf angeschnittene Wohnkammern der Einzelpolypen (Polypenkelche). Zum Teil sind angeschnittene Septen zu erkennen. Deutlich ist die Septierung des zentralen Primärpolypenskeletts. Durchmesser des Querschliffs 5 mm. c Längsschnitt durch einen Korallenpolypen und basales Skelett. C Coenosteum, D Dissepiment, F Fußplatte, K Columella, M Mesenterium (nach Schuhmacher, 1976). d und e Aufsicht und Längsschliff durch ein junges Aststück mit Polypenkelchen (Pfeile). Länge des Stückes 15 mm.

Tabelle 1: Jährliche	Wachstumsgröße in mm bei ver-
schiedenen Wasserte	emperaturen (nach Eibl-Eibesfeldt).

	Hawaii	Samoa
Pocillopora	14	23
Porites (verzweigt)	8–10	30
Porites (kopfig)	8–10	17
Psammocora	6	14
Mittlere Jahrestemperatur in °C	23	26

Coenosteum ("Füllmasse", Abb. 4c) bedeckt. Ein Spezialfall der intratentakulären Knospung ist die so genannte intramurale Knospung (Beispiel: Hirnkoralle *Platygyra*). Hier entstehen die neuen Polypen in einer Reihe, die von einer gemeinsamen Theka (Wall) begrenzt wird (Abb. 3e). In den meisten Fällen grenzen sich die Einzelpolypen durch die Theka gegeneinander ab (Beispiele: Porites, Acropora, Stylophora, Favites; Abb. 3). So sitzt jeder Polyp in seinem eigenen Kelch. Es gibt jedoch auch Korallenarten, bei denen die Abgrenzung durch einen Wall fehlt (Beispiel: *Pavona*, Abb. 3d). Tabelle 1 vermittelt eine Vorstellung über die jährliche Wachstumsgröße (in mm) von drei Korallenarten und über die Temperaturabhängigkeit des Wachstums.

So können Korallenstöcke von 1 m Umfang rund einhundert Jahre alt sein, und es dauert Jahrzehnte, bis sich ein durch Sturm oder Menscheneinwirkung zerstörtes Riff wieder regeneriert hat.

Skelettbildung

Das Skelett der Steinkorallen besteht aus Aragonit, einer Modifikation von Kalziumkarbonat. Feinste Chitinfäden, welche vom Ektoderm der Polypenbasis abgeschieden werden, dienen als Anheftungs- und Ausrichtungsort der submikroskopischen Primärkristalle, welche sich zu übergeordneten Strukturen zusammenfügen, aus denen die mehr oder weniger poröse Skelettsubstanz mit den Polypenkelchen resultiert (Abb. 4b, d, e). Spezielle vom Polypen gebildete Skelettbauteile sind Theka, Septen (Sklerosepten), gelegentlich eine Columella (Abb. 3c) und Dissepimente (Abb. 4a, c). Kalziumionen und Kohlenstoffdioxid stehen im

Meerwasser reichlich zur Verfügung. Aus Kohlenstoffdioxid und Wasser entsteht Kohlensäure. Aus dieser und den Calciumionen bildet sich wasserlösliches Kalziumhydrogenkarbonat. Bei der Skelettogenese wird nun durch Abspaltung von Kohlenstoffdioxid unlösliches Kalziumkarbonat gebildet. An diesem Prozess haben die symbiotischen Algen erheblichen Anteil, benötigen sie doch Kohlenstoffdioxid zur Assimilation. Korallen mit Symbionten bilden zehnmal schneller Skelettsubstanz als symbiontenfreie Korallenarten.

Bestimmung von Korallen

Die Gestalt eines Korallenstockes lässt, wenn überhaupt, nur vage die Zuordnung zu einer Gattung oder Art zu. Anders ist das bei der Oberflächenstruktur des Skeletts. Diese ist nämlich artspezifisch (Abb. 3). Größe, Anordnung und Form der Polypenkelche (rund oder eckig), Anordnung der Septen und das Vorhandensein einer Theka oder Columella sind wichtige Bestimmungsmerkmale. Und was sich nur umständlich beschreiben lässt, zeigt besser eine Zeichnung oder eine Fotografie. Die Abbildung 3 vermittelt einen Eindruck der vielfältige Formen schaffenden Bautätigkeit der zum Teil winzigen Einzelpolypen. Selbst der Feinbau der kristallinen Elemente, welche den Polypenkelch zusammensetzen, ist unterschiedlich, wie die Fotos teilweise erkennen lassen. Der Strandwanderer an tropischen Gestaden kann sich freuen, ein äußerlich unversehrtes Korallenbruchstück zu finden. Meistens hat die Brandung alle Feinstrukturen abgeschliffen. Stücke mit wirklich unbeschädigter Oberfläche erhält man nur durch Mazeration (Kochen in Sodalösung) lebendfrischer (für den Transport getrockneter) Teile. Das Sammeln von Korallen ist heute jedoch zum Glück verboten.

Gefährdung von Korallen

Korallenriffe und Riffkorallen unterliegen – je nach Region – einer ständigen Zerstörung durch außergewöhnliche Naturgewalten. Das Korallenwachstum hat bisher diese Ereignisse kompensiert. Seit Jahrzehnten sind menschliche Aktivitäten eine zusätzliche Bedrohung für die Riffkorallen: Bautätigkeit, unter anderem im Zusammenhang mit Tourismus, Nährstoffanreiche-

rung (Düngemittel ins Meer mündender Flüsse) und Algenwachstum als Folgeerscheinung, Fischerei (Schleppnetze), Verschiebungen biologischer Gleichgewichte (Beispiel Dornenkronen-Seesterne) oder Zunahme der Wassertemperatur (Klimaerwärmung) mit der Korallenbleiche als Folge sind weitere Schadfaktoren. Es bleibt zu hoffen, dass Schutzbestimmungen und Schutzeinrichtungen sowie die Bemühungen der Vermehrung und "Neuanpflanzung" von Korallen in Zukunft reichen, um die schon von Ernst Haeckel enthusiastisch beschriebenen Korallengärten der Welt zu erhalten.

Danksagung

Prof. Dr. H. Schuhmacher war so freundlich, die Korallengattungen anhand von Fotografien für mich zu bestimmen.

Literaturhinweise

Bergbauer, M.: Dynamik von Korallenpopulationen im Großen Barriereriff. Naturwissenschaftliche Rundschau 53, 176–178 (2000).

Ditlev, H.: Reef-building corals of the Indo-Pacific. Dr. W. Backhuys Publisher, Rotterdam 1980.

Eibl-Eibesfeldt, I.: Die Malediven, Paradies im Indischen Ozean. R. Piper & Co. Verlag, München 1982.

Goreau, T. F., Goreau, N., Goreau, Th. J.: Korallen und Korallenriffe. Spektrum der Wissenschaft 10, 52–63 (1979).

Kremer, B. P.: Symbiose von Algen und Korallen. Naturwissenschaftliche Rundschau 38, 508–516 (1985).

Schuhmacher, H.: Korallenriffe. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München 1976.

Schuhmacher, H.: Korallen. Baumeister am Meeresgrund. BLV Buchverlag GmbH & Co. KG, München 2010.

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

Aus der Industrie

Makro-Station HD II – Der vielseitige Video-Arbeitsplatz neu aufgelegt

Die Makro-Station HD II der Optometron GmbH ist ein vielseitiger Video-Arbeitsplatz zur Bilddokumentation, für Reparaturarbeiten und Stichprobenkontrollen. Sie ist mit einem hochauflösenden 10x-Zoom ausgestattet, das Vergrößerungen von 6x bis 60x ermöglicht. Die Zoomstellung und die Blende sind arretierbar, dies gewährleistet reproduzierbare Einstellungen bei hoher Tiefenschärfe. Der schwenkbare Ausleger erlaubt die seitliche Betrachtung von Bauteilen. Die schnelle USB-Kamera (30 Bilder/Sekunde) besitzt einen hochwertigen CCD-Chip, der maximale Auflösung mit sehr guter Bildwiedergabe vereint. Das System kann auch mobil mit Notebooks eingesetzt werden. Eine regelbare LED-Ring-Beleuchtung komplettiert den Video-Arbeitsplatz. Die Software VIS 6.0 dokumentiert das Bildergebnis in wenigen Schritten. Das modulare Videosystem ist erweiterbar: Mit dem Polarisations-Set zur Anwendung bei glänzenden Oberflächen, einem segmentierten LED-Ring zur seitlichen Beleuchtung, Fix-Objektiven für wiederkehrende Aufgabenstellungen, dem Modul Vermessung zur VIS 6.0, manuellen Kreuztischen mit 25×25 mm oder 75 x 50 mm Verfahrbereich sowie kundenspezifischen Stativabmessungen.

Weitere Informationen:

Optometron GmbH Riemerstraße 358 81829 München Tel.: 0 89/90 60 41 Fax: 0 89/90 60 44 www.optometron.de



Abb. 1: Makro-Station HD II der Optometron GmbH.

Darstellung der Oberflächentextur von Sandkörnern aus Quarz in Durchlicht-Hellfeld-Beleuchtung

Oliver Lenzen

Sand wird meist nur als unverzichtbarer Bestandteil von Badestränden wahrgenommen und gewürdigt. Wer aber ist sich schon bewusst, dass sein ausgebreitetes Badetuch mit mehreren hundert Millionen Sandkörnern in Kontakt ist, von denen jedes als Individuum mit eigener, langer Geschichte betrachtet werden kann, die an Form und Oberfläche der Körner jeweils Spuren hinterlassen hat. Solchen Spuren – speziell an Quarzkörnern – geht der folgende Artikel nach und schildert eine einfache Methode, diese auch für Hobbymikroskopiker sichtbar zu machen.

an vermutet, dass in jeder Sekunde weltweit etwa eine Milliarde Sandkörner neu entstehen (Kuenen, 1959). Nach ihrer "Geburt" durchlaufen die Sandkörner anschließend einen zum Teil viele Millionen Jahre andauernden Prozess, an dessen Ende sie mechanisch abrasiven oder chemischen Vorgängen zum Opfer fallen, in Folge von Plattensubduktionen (Unterschiebung von Erdplatten) metamorph überprägt oder aufgeschmolzen werden.

Die Herkunft des Sandes

Sand zählt zu den klastischen Sedimenten, die nach der Erosion von Gestein und dem anschließenden Transport entstehen. Als Begriff ist Sand ausschließlich über die Korngrößenfraktion von 0,063 bis 2 mm Durchmesser definiert (DIN 18123), ohne das zugrunde liegende Material zu spezifizieren. Natürliche Sande können also je nach Herkunft aus den verschiedensten organogenen oder anorganischen Materialien bestehen. Während beispielsweise Schuttkegel und Alluvialfächer (Schwemmfächer) in skandinavischen Gebirgsregionen ausschließlich Sande der mineralischen Zusammensetzung des Grundgebirges erwarten lassen (Abb. 1), bestehen Küstensande in tropischen Regionen in der Regel überwiegend,

manchmal auch vollständig, aus biogenem Calciumcarbonat. Meist ist hier unter dem Mikroskop eine interessante, formenreiche und bunte Mischung aus Fragmenten von Schnecken- und Muschelschalen, Bruchstücken von Korallen und Foraminiferenschalen zu identifizieren (Abb. 2, 13, 14).

Ein Großteil der kontinentalen Landmassen besteht aus Granit, dessen Erosionsprodukte daher einen wesentlichen Beitrag zur Gesamtmasse und Zusammensetzung des Sandes liefern. In kontinentalen Sanden hängt aber die mineralische Zusammensetzung noch von einer Reihe weiterer Faktoren ab. Neben den lokalen Gegebenheiten spielen hierbei Transportvorgänge eine wichtige Rolle. Bei wenig transportierten, lokalen Sanden steht natürlich das entsprechende Ausgangsmaterial anteilsmäßig im Vordergrund. So bestehen einige Küstenabschnitte auf Hawaii fast ausschließlich aus den vulkanisch gebildeten Mineralen basaltischer Laven der Insel meist schwarzer oder dunkelgrüner Färbung (Titelbild). Vollkommen außerhalb eines Einflusses des Festlandes haben sich ebenso die Sande auf Galapagos gebildet (Abb. 3). Im Gegensatz zu Hawaii fehlen im gezeigten Beispiel weitgehend dunkle, mafische Bestandteile. Der Sand setzt sich aus hell-rötlichen vulkanischen Gesteinsresten und einer unüberschaubaren Vielfalt von Schalenfragmenten und Stacheln verschiedenster Meerestiere zusammen. Bei Sanden, die einem weiten Transportweg unterzogen wurden, dominieren demgegenüber allgemein tribochemisch resistentere Substanzen, zuoberst Quarz. Tribochemie (Mechanochemie) beschreibt das chemische Verhalten von Stoffen unter mechanischer Einwirkung.

Feldspat als Bestandteil von Granit ist eines der weltweit häufigsten Mineralien, chemisch recht instabil und kennzeichnend nur in so genannten "unreifen" Sedimenten vertreten (Abb. 1). Mit zunehmendem Transportweg und aggressiveren Ablagerungsmilieus steigt der Reifegrad und es bleibt Quarz als Hauptbestandteil zusammen mit einigen Begleitmineralien wie Glimmer – und gegebenenfalls Schwermineralen wie Granat, Rutil und Zirkon – zurück. In manchen Wüstengebieten bestehen die Sande monomineralisch aus Quarz (Abb. 4).

Ein Leben in Zyklen

Quarz verhält sich gegenüber chemischer Einwirkung sehr stabil und besitzt eine sehr geringe aber nicht verschwindende Löslichkeit in Wasser. Außerdem lässt sich zeigen, dass Quarzkörner selbst durch längere Transportstrecken, wie sie in den großen Strömen der Welt vorliegen, wesentlich weniger abrasiv bedingt gerundet werden, als man vermuten mag, wobei außerdem die Abriebsrate mit kleiner werdender Korngröße sinkt. Der Transport eines Sandkornes von der Mississippi-Quelle bis zur Mündung im Meer würde – bei Betrachtung eines relevanten Kollektivs – nicht zu dessen vollständiger Abrundung führen. Das Korn bleibt kantig mit lediglich abgerundeten Ecken. In ariden Wüstenregionen liegen demgegenüber unter äolischen Bedingungen (Windtransport)



Abb. 1-4: Sandproben verschiedener Herkunft. Bildbreite je 7 mm. – Abb. 1: Polymineralischer, feldspatreicher, nur leicht kantengerundeter Sand von einem Seeufer in glazial überprägtem Hochland bei Valle, Norwegen. – Abb. 2: Calciumcarbonatsand von der Ostküste Mauritius. – Abb. 3: Küstensand bestehend aus vulkanischen Gesteinsresten und reichhaltigen Schalenfragmenten verschiedener Meerestiere, Bartolome Insel, Galapagos. – Abb. 4: Monomineralischer Quarzsand mit rötlicher Eisenoxidauflage. Sahara bei Murzuk, Libyen.

vollständig andere tribochemische Verhältnisse vor. Es überwiegt der direkte Korn zu Korn Einschlag ohne dämpfende, am Korn anliegende Grenzschicht aus Wasser. Mechanismen der Saltation (Hüpfen der Sandkörner) und chemische Anätzung durch Kondenswasser treten auf. Aber auch hier erweist sich Quarz als sehr widerstandsfähiges Material.

Die Existenz von kleinen, aber nahezu vollständig gerundeten Sandkörnern aus Quarz blieb lange Zeit schwer erklärbar und rätselhaft, bis man herausfand, dass diese Körner offenbar mehrere Erosionszyklen durchlaufen hatten (Siever, 1988). Das bedeutet, dass Quarzkörner, die beispielsweise aus der Verwitterung eines Granits hervorgegangen sind, nach Transport über Fluss- und Meeresströmung in einem Sedimentationsprozess abgelagert und diagenetisch zu Sandstein verfestigt werden. Wird dieser Sandstein später als Folge eines Hebungsprozesses selbst erosiv beansprucht, kommt das betrachtete Ouarzkorn wieder unter Transportund damit Abrasionseinfluss mit zunehmender Abrundung der Kontur. Die Verrundung schreitet solange fort, bis das Korn gegebenenfalls erneut sedimentiert wird. Der Zyklus beginnt von vorne.

Ein Zyklus dieser Art kann nach grober Schätzung im Durchschnitt circa 200 Millionen Jahre betragen (Siever, 1988). Betrachtet man ein weitgehend sphärisches Sandkorn hinreichend kleinen Durchmessers im Mikroskop, so blickt man auf eine Geschichte von vermutlich bis zu zehn wiederholten Zyklen von "Geburt", Einbettung und "Wiedergeburt" mit

einem Alter von über zwei Milliarden Jahren. Ein durchaus bemerkenswerter Gedanke.

Auf die Oberfläche kommt es an

All diese Vorgänge hinterlassen Spuren. Neben der Größe, also dem Durchmesser, sind die Körner morphologisch durch ihre Form (tafelig, gestreckt, kugelig, usw.), ihre Sphärizität (Grad der Annäherung an die Kugelform) und ihren Rundungsgrad der Kornvorsprünge bestimmt (Stow, 2005). Darüber hinaus lassen sich bei jedem Korn spezifische Oberflächenstrukturen erkennen. Aus Form- und Oberflächenmerkmalen können nun Rückschlüsse auf Genese, Transport und Sedimentationsmilieu gezogen werden. Leider sind diese weder eindeutig noch lassen sie sich immer individuell am einzelnen Korn manifestieren. Erst durch die Kombination der Merkmale am Einzelkorn und in ihrer relativen Häufigkeit, gemessen an einer geeignet großen Anzahl von Körnern des betrachteten Fundortes, ist eine treffsichere Aussage über die Vergangenheit der Probe möglich.

Bei ausreichend genauer Untersuchung können also Hinweise auf marine, fluviatile, äolische oder glaziale Herkunft beziehungsweise Überprägung der Sandkörner erkannt und abgeleitet werden (Madhavaraju et al., 2009; Cremer, 1989). Charakteristische Mikrotexturen sind und waren Gegenstand vieler Untersuchungen und stehen zum Teil in Form von Referenzsammlungen oder systematisierenden Aufstel-

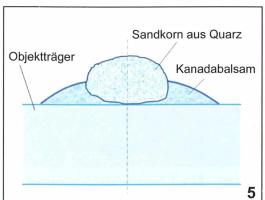




Abb. 5: Probenaufbau mit einzelnem Sandkorn und Querschnitt durch den Objektträger. – **Abb. 6:** Blick auf die in Kanadabalsam eingelassenen Sandkörner einer Probe. Bildbreite 8 mm.



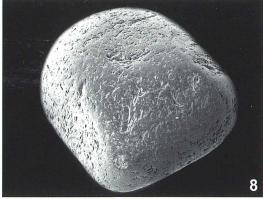


Abb. 7: Probekorn aus den Sanden der Oberkreide bei Haltern, Deutschland. Lichtmikroskopische Aufnahme aus zehn Schichten mit Abstand von 5 bis 10 µm, Objektiv Apo 12,5/0,3, Bildbreite 850 µm. – **Abb. 8:** Vergleichsaufnahme desselben Kornes mit dem Rasterelektronenmikroskop; die Probe ist mit Gold besputtert.

lungen zur Verfügung (Cremer, 1989; Mahaney, 2002; Tucker, 1996). Einige Beispiele seien nachfolgend genannt. Glaziale Transporte hinterlassen Rattermarken, parallele Streifungen und Mahlspuren, bei fluviatilem Transport überwiegen V-förmige Einschlagmarken mit angerundeten Körnern und knollenförmigen Ecken (bulbous edges). Sandkörner aus ariden und heißen Wüstengebieten weisen gut gerundete Formen auf sowie Mikrotexturen, die als mäandrierende Bänder bezeichnet werden und aus charakteristischen muschelförmigen Bruchstrukturen (conchoidal fractures) entstehen, die anschließend abrasiv überprägt wurden. Weiterhin sind so genannte aufgerichtete Platten (upturned plates) unter sehr starker Vergrößerung zu erkennen, die Ergebnis diverser abrasiver und chemischer Prozesse sind und sogar experimentell nachgebildet werden konnten (Krinsley und Wellendorf, 1980). Die Oberflächen sind oft mit vielen kleinen Einschlagsmarken übersät und wirken auch unter geringerer Vergrößerung dadurch mattiert oder gefrostet. Die Herkunft aus marinen Milieus ist in der Literatur weniger gut und eindeutig belegt (Udayaganesan et al., 2011). Meist werden Hinweise auf V-förmige Einschlagstrukturen mit linearen oder gebogenen Kratzern gegeben, sofern die Körner aus der littoralen, hochenergetischen Zone stammen (Abb. 15). Viele Körner des marinen Milieus wirken glatt und poliert (Siever, 1989).

Bis auf einige Ausnahmen wie die erwähnten upturned plates und Spuren chemischen Ursprungs, liegen die relevanten Texturen in der Größenordnung von 1 bis über 50 µm und werden nach Stand der Technik vorwiegend mit Hilfe von Rasterelektronenmikroskopen (REM) untersucht und dokumentiert (Mahaney, 2002).

Sand durchleuchtet

Hobbymikroskopikern stehen diese Geräte in der Regel nicht zur Verfügung. Die genannten Abmessungen sind aber durchaus in einem Bereich, der auch für Lichtmikroskope zugänglich ist. Da nur die Oberfläche betrachtet werden soll, wäre hierfür ein geeigneter Auflicht-Dunkelfeldilluminator zu verwenden, der aber ebenfalls nur selten in der Standardausrüstung vertreten ist und spezielle und teure Objektive erfordert.

Hier nun soll vorgestellt werden, wie mit recht einfachen Mitteln hinreichend gute Aufnahmen von Quarzkornoberflächen mit Hilfe der stets zur Verfügung stehenden Hellfeld-Duchlicht-Beleuchtung gewonnen werden können. Das Prinzip beruht darauf, die zu beobachtenden Körner nicht vollständig, sondern nur etwa bis zu deren Äquatorialebene in ein Medium einzubetten, das einen möglichst ähnlichen Brechungsindex besitzt. Bewährt hat sich der recht verbreitete Kanadabalsam (Abb. 5 und 6). Bei Durchleuchtung des Präparates werden Strukturmerkmale an der Unterseite des Kornes weitgehend unterdrückt, da sich diese durch

den eingedrungenen Balsam gefüllt haben und bedingt durch dessen vergleichbar großen Brechungsindex somit optisch unwirksam werden. Sichtbar bleibt die freie, nicht benetzte Kornoberfläche gegen Luft, deren Strukturen kontrastreich und deutlich in dieser Anordnung hervortreten. Korngrößen mit Durchmessern von 200 bis etwa 600 µm eignen sich sehr gut

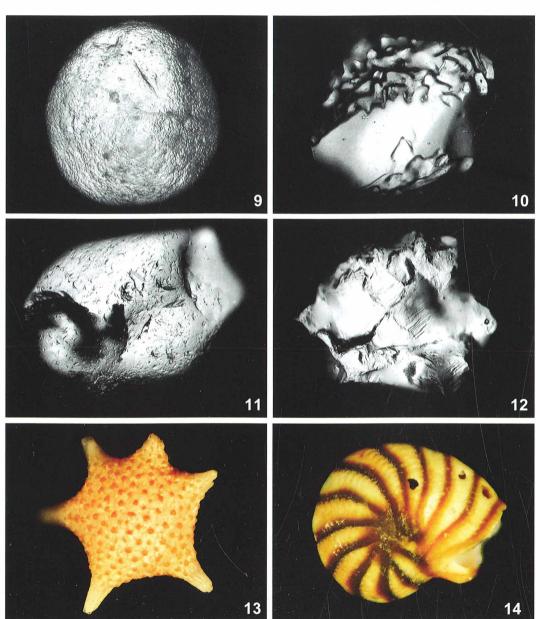
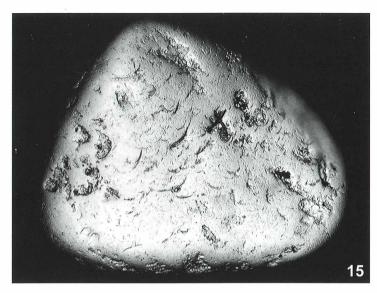


Abb. 9: Sahara, Murzuk, Libyen. Objektiv Pl 8x. Bildbreite 1150 μm. – Abb. 10: Panama Ostküste. Korn mit vulkanischer Herkunft und gut sichtbaren Resorptionserscheinungen. Objektiv Pl 16/0,25. Bildbreite 980 μm. – Abb. 11: Kerala, Indien. Mariner Küstensand. Objektiv Pl 16/0,25. Bildbreite 610 μm. – Abb. 12: Valle, Norwegen. Seeufer aus Abb. 1. Objektiv Pl 10/0,25. Bildbreite 1000 μm. – Abb. 13: Caledonien, Pinieninsel. Sternförmige Organismenschale. Objektiv Pl 4/0,14. Bildbreite 1240 μm. – Abb. 14: Kreta, Ostküste. Foraminiferenschale. Objektiv Pl 4/0,14. Bildbreite 1240 μm.

Abb. 15: Ostseeküste bei Kühlungsborn, Aufnahme in 13 Schichten à 10 µm Abstand. Objektiv Apo 12,5/0,3. Bildbreite 750 µm. Gut zu erkennen ist die insgesamt gut gerundete Form mit glatter Oberfläche sowie Einschlagmarken (V-shapes), die in energiereicher litoraler Umgebung entstanden sein müssen (Udayaganesan et al., 2011). Tiefe, gerichtete Kratzspuren im oberen Teil des Kornes können auf einen ursprünglich glazialen Transport hindeuten. Dies wird durch Formen in der linken Hälfte unterstützt, die als crescentic gouges oder sichelförmige Meißelspuren bezeichnet werden (Mahaney, 2004) und ebenfalls auf glaziale Einflüsse deuten lassen.



und werden auch in der Literatur überwiegend für Textur-Untersuchungen bevorzugt verwendet.

Porträts entstehen

Da die Kornabmessungen wesentlich größer sind als die Schärfentiefe der verwendeten Mikroskopobjektive, muss für die fotografische Dokumentation das Korn in Ebenen mit einem Abstand von etwa 2 bis 10 µm geschichtet aufgenommen werden. Es empfiehlt sich, mit leichter Schrägbeleuchtung zu arbeiten, die eine angedeutet plastische Wirkung hervorruft. Zahl und Abstand der Ebenen richtet sich nach der Korngröße, den zu dokumentierenden Merkmalen und dem verwendeten Objektiv. Es ist dabei meist nicht unbedingt erforderlich, die gesamte Oberfläche zu erfassen. Die Einzelbilder werden mit Hilfe eines geeigneten Stackingverfahrens (z. B. Combine Z) zu einem Bild der gewünschten Schärfentiefe kombiniert. Artefakte, die sich bei Schichtaufnahmen aus tieferliegenden Einschlüssen in den Körnern ergeben, wirken sich nur recht wenig störend aus, da diese Störungen innerhalb der jeweils ringförmigen Schärfezonen liegen und von der Stackingsoftware (Combine Z) nicht zur Bildinformation herangezogen werden. Lediglich große und opake Einschlüsse werfen Schatten auf darüber befindliche Oberflächenbereiche, so dass solche Körner nicht für eine Auswertung geeignet sind.

Zur Überprüfung des Verfahrens wurden Probekörner zunächst wie beschrieben und anschließend im Rasterelektronenmikroskop untersucht. Dazu müssen die nicht leitfähigen Quarzoberflächen zusammen mit Balsam und Objektträger mit einer dünnen Goldschicht besputtert werden, die anschließend in der Probenkammer des REM elektrisch kontaktiert wird. Dies verhindert die elektrische Aufladung der Proben, die zu einer Verminderung der Bildqualität führen würde. Der direkte Vergleich zeigt eine sehr gute Übereinstimmung in allen erkennbaren Oberflächenmerkmalen (Abb. 7 und 8), wobei das Kontrastverhalten verfahrensbedingt deutlich unterschiedlich ist. Im Beispiel werden die gekrümmten Einschlagmarken oder crescent-shaped features (Cremer, 1989) im lichtmikroskopischen Bild dunkel auf heller Oberfläche und im rasterelektronischen Bild tendenziell hell auf dunkler Oberfläche dargestellt.

Da der Bildhintergrund keine relevanten Informationen trägt, wird er später, um die Bildwirkung zu erhöhen, einfarbig schwarz oder auch weiß (z.B. per Ebenenmaske in Photoshop) eingefärbt. Bei den dargestellten Abbildungen wurde ansonsten nur Tonwert und Kontrast an die realen Gegebenheiten angeglichen, ohne eine allgemeine Optimierung vorzunehmen.

Die Herstellung der Proben ist recht einfach und erfolgt in fünf Schritten:

- 1) Auswahl von 5-10 Sandkörnern mit Durchmesser von etwa 100 bis 600 um unter dem Stereomikroskop.
- 2) Eine sehr kleine Menge Balsam wird auf den Objektträger gebracht und dort mit der Spatelkante dünn auf eine Fläche von etwa 5 × 10 mm ausgestrichen. Die Schichtdicke sollte etwas mehr als der halbe Korndurchmesser betragen.
- 3) Kurzes Erwärmen über der Spiritusflamme so, dass beim Schmelzen des Balsams die Oberflächenspannung für eine gleichmäßig glatte Oberfläche sorgt.
- 4) Nach kurzem Erkalten werden die Sandkörner einzeln unter dem Stereomikroskop oder einer Lupe auf der Balsamoberfläche mit Abstand platziert.
- 5) Nun wird der Objektträger erneut vorsichtig über die Spiritusflamme geführt (die Körner dürfen sich nicht bewegen) und der Balsam gerade so lange erhitzt, bis die Körner bis zum Boden absinken (Abb. 5 und 6). Mit etwas Übung findet man leicht den rechten Zeitpunkt.

Die Aufnahmen der Einzelkörner entstanden mit einem Leitz Ortholux I aus den siebziger Jahren mit den zugehörigen Objektiven der Zeit und einer auf den Fototubus mit Leitz Periplan 10x Kompensationsokular adaptierten Nikon Coolpix 990 (3,34 MP).

Schlussbemerkung

Es ist sicher ein ungleicher Wettbewerb, ein über 40 Jahre altes Lichtmikroskop gegen ein Rasterelektronenmikroskop antreten zu lassen. Bei der vorliegenden Problemstellung und im betrachteten geringen Vergrößerungsbereich kann für eine erste Untersuchung das geschilderte Verfahren aber durchaus relevante Ergebnisse liefern. Für genauere wissenschaftliche Untersuchungen sind natürlich eine strengere Methodik und die um Größenordnungen höhere Auflösung des REMs anzuwenden.

Insgesamt stellt natürlicher Sand als nahezu allgegenwärtiges und leicht verfügbares Material ein sehr vielschichtiges und hochinteressantes Beobachtungsobjekt dar. Neben der rein wissenschaftlichen Betrachtung ist es im Falle der Sandmikroskopie auch die schiere porträthafte Ästhetik des Einzelkornes, die den Betrachter für das zunächst unscheinbare Produkt der Erosion einzunehmen vermag. Die Beobachtungsobjekte werden uns bei einer geschätzten Gesamtzahl von 85.7×10^{24} Exemplaren (von denen vermutlich keine zwei gleichen existieren) so schnell nicht ausgehen.

Danksagung

Ich bedanke mich bei Dr. Michael Kübler für die Herstellung des rasterelektronenmikroskopischen Bildes am Polymerinstitut für Kunststofftechnik PIK der Hochschule Heilbronn, sowie bei Prof. Dr. Peter Ott, Institut für Technische Optik, für die Durchsicht des Manuskripts. Vielen nicht genannten Freunden und Bekannten sei an dieser Stelle für die Beschaffung und sorgfältige Dokumentation zahlreicher Sandproben aus aller Welt gedankt.

Literaturhinweise

Cremer, M., Legigan, P.: Morphology and surface texture of quarz grain from ODP Site 645, Baffin Bay. Proceedings of the Ocean Drilling Programm, Scientific Results, Vol. 105 (1989).

Krinsley, D., Wellendorf, W.: Wind velocities determined from the surface texture of sand grains. Na-

ture 283, 372-373 (1980).

Madhavaraju, J., García y Barragán, J. C., Hussain, S. M., Mohan, S. P.: Microtextures on quartz grain and Bahia Kino, Gulf of California, Sonora Mexico. Revista Mexicana de Ciencias Geologicas 2, 367–379 (2009).

Mahaney, W. C.: Atlas of sand grain surface textures and applications. Oxford University Press, Oxford

Pettijohn, F. J.: Sand and sandstone. Springer Verlag, Berlin 1973.

Siever, R.: Sand. Ein Archiv der Erdgeschichte. Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg 1989.

Stow, D. A.: Sedimentgesteine im Gelände. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2008.

Tucker, M.: Methoden der Sedimentologie. Ferdi-

nand Enke Verlag, Stuttgart 1996.

Udayaganesan, N., Angusamy, N., Gujar, A. R., Ra-jamanickam, G. V.: Surface microtextures of quarz grains from the central coast of Tamil Nadu. J. Geol. Soc. India 77, 26–34 (2011).

Verfasser: Prof. Dr. Oliver Lenzen, Im Burgstall 5, 74343 Sachsenheim, E-Mail: lenzen@hs-heilbronn.de

Milkro-Lyrik

Struensees Mikroskop

In der Kriminalliteratur hat sich das Genre des historischen Kriminalromans fest etabliert. Wer sich in die gute alte böse Welt der Hansestadt Hamburg versetzen lassen möchte, ist bei der Autorin Petra Oelker bestens aufgehoben. Ihre Serie Tod am Zollhaus, Der Sommer des Kometen und Lorettas letzter Vorhang (alle im Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek bei Hamburg erschienen) vermittelt ein lebendiges Bild vom früheren Leben in der Elbestadt.

Mit dem *Sommer des Kometen* führt sie den Leser zurück in den Juni des Jahres 1766. Drückende Schwüle liegt über der Stadt, in den

engen Gassen steht die modrige Luft und das Wechseloder Marschenfieber steigt aus den Fleeten, die zugleich als Entwässerungsgräben Transportwege, aber auch als Müllschlucker, Nutz-Trinkwasserleitungen genutzt werden. Über die große Zahl unvermeidlicher Infektionsopfer hinaus erhöhen einige rätselhafte Morde die Zahl der Toten. Diese Verbrechen aufzuklären legt die Autorin einer Allianz der Guten in die Hände, welche sich um den ehrbaren Kaufmann Claes Herrmanns, die fahrende Komödiantin Rosina und den Weddemeister Wagner schart. Natürlich finden am Ende alle

Rätsel ihre Lösung – wie, das wird hier natürlich nicht verraten.

Mikroskopie zum Wohle der Menschen

Wir Mikroskopiker kommen auf einem Nebenschauplatz des Geschehens zu unserem Recht. Petra Oelker lässt nämlich auch den Stadtphysikus von Altona, Dr. Johann Friedrich Struensee (1737–1772), auftreten. Er setzt sich selbstlos für die Kranken ein und ahnt, dass die Seuche sich nicht aus inneren Säften, sondern aus mangelnder Reinlichkeit herleitet. In der

Studierstube seiner Wohnung in der Königsstraße trifft er seinen Freund Hartog Gerson an. Zu diesem Protagonisten erfahren wir aus dem Glossar des Romans: Dr. Hartog Hirsch Gerson (1727–1801) kehrte nach dem Studium in England und Holland nach Altona zurück und wurde Arzt der jüdischen Gemeinde in Altona. Wie seine Freunde Struensee und Reimarus war er bei der Suche nach den Ursachen und der Bekämpfung von Infektionskrankheiten seiner Zeit weit voraus.

Der schmale Mann mit dem dunklen Bart saß in Struensees kleiner Studierstube neben dem

größeren Wohnraum und war, wie so oft, über das Mikroskop des Freundes gebeugt.

Neben dem kostbaren Gerät lagen nicht minder kostbare Bücher. Gerson hatte die Mikrographia von Hooke aufgeschlagen, ein hundert Jahre altes Werk, in dem alle nur denkbaren Insekten und auch einzelne ihrer zarten Körperteile so abgebildet waren, als betrachte man sie durch eine Lupe oder ein Mikroskop.

Er hatte das schwere Buch gegen zwei andere gestützt, Swammerdams Historia insectorum generalis und Pascals Pensées. Die kostbaren Bücher waren Struensees größter Schatz und wie das Mikroskop

Erbe seines Großvaters, der nicht nur in der Berufswahl sein Vorbild gewesen war.

Aber auch wenn er, anders als die meisten Kollegen, das Mikroskop zu den wertvollsten ärztlichen Werkzeugen zählte, fehlte ihm die innere Ruhe für die konzentrierte geduldige Arbeit der Augen. Gerson dagegen konnte sich stundenlang in diese Welt der Winzigkeiten vertiefen, und seine Erkenntnisse mit dem Freund zu teilen und zu diskutieren, half ihm wie Struensee auf die beste Weise.

War deine Vermutung richtig?, fragte Struensee statt einer Begrüßung. Er wußte, daß Gerson sich in diesen Tagen mit Stechmücken beschäf-



tigte, weil er davon überzeugt war, daß die für die Verbreitung des Wechselfiebers oder Marschenfiebers, wie es im Holsteinischen genannt wurde, verantwortlich waren. (...)

Ich bin noch nicht sicher, ob meine Vermutung richtig ist, murmelte Gerson nach einer Weile. Er sah auf, rieb sich die Augen und seufzte: Wenn doch nur die Linsenschleiferei endlich größere Fortschritte machen würde. Ich kann einfach nicht genug erkennen. Sag mir, was du siehst.

Struensee warf einen flüchtigen Blick durch das schwarze, mit zierlichen Malereien von Insekten und Blumen verzierte Rohr. Dann schüttelte er den Kopf. Ich habe heute schon genug gesehen. Außerdem, er blickte zur Standuhr zwischen den Fenstern, die anderen kommen gleich.

Wissenswertes aus dem Glossar

Soviel zur zeitgenössischen Mikroskopie in diesem Kriminalroman. Das Glossar bietet noch einige wissenswerte Ergänzungen: Jan Swammerdamm (1637–1680) war holländischer Arzt und Naturforscher und Robert Hooke (1635–1703) englischer Naturforscher, einer der vielseitigsten Wissenschaftler seiner Zeit. Beide dürften dem Leser aus dem MIKROKOSMOS wohl bekannt sein (Göke, 1989; Väth, 1999). Baruch de Spinoza (1632–1677) wird in der ausgelassenen Textpassage (S. 77) mit Gerson und Struensee in Verbindung gebracht:

Spinoza war von Juden wie von Christen als Ketzer verdammt worden, aber Struensee, der Christ, und Gerson, der Jude, gehörten zu denen, die seiner Lehre heimlich angehörten. Das Prinzip der Erkenntnisse durch das Mikroskopieren stand ihnen für alle Dinge auf der Welt: Hinter allem, was das Auge entdecken konnte, steckte noch etwas anderes, Kleineres. So sahen die Menschen im immer Kleineren immer mehr. Das letzte, im tiefsten Verborgenen war das wirklich Bedeutungsvolle, erst mit dem Kleinsten erkannte man das Große, das Ganze.

Und was hatte Spinoza Juden und Christen verhasst gemacht? Dazu das Glossar:

Er hielt Jesus zwar nicht für Gottes Sohn, aber für den bedeutendsten und edelsten Menschen, in dessen Nachfolge vielleicht alle Menschen über die Grenzen der Religionen hinweg geeint werden könnten. Er war überzeugt, daß Gott und Natur (alles Seiende) identisch sind, die Menschen ein (nicht übergeordneter) Teil der Natur, und daß die Worte der Bibel nicht Gottes Worte, sondern die von sehr unvollkommenen Menschen sind. Das galt Juden wie Christen als blanke Ketzerei.

S(pinoza) verdiente seinen Lebensunterhalt als Linsenschleifer; er litt an Tuberkulose, das ständige Einatmen des Schleifstaubes soll seinen frühen Tod beschleunigt habe. Vielen orthodoxen Geistlichen waren noch im 18. Jahrhundert Teleskop und Mikroskop auch deshalb suspekt, weil sie argwöhnten, die Linsen könnten von dem holländischen Ketzer geschliffen worden sein.

Mikroskopie und Seuchen

Wer heute an eine verheerende Seuche in Hamburgs Geschichte denkt, dürfte sich dabei an die große Cholera-Epidemie erinnern, die im August 1892 – also gut 125 Jahre nach den fiktiven mikroskopischen Untersuchungen Gersons mit Struensees Mikroskop – grassierte. Wie Vasold (2002) in seiner Koch-Biographie berichtet, wollten die Behörden die Gefahr zunächst nicht wahrnehmen und suchten die Bevölkerung zu beschwichtigen. Besonders betroffen waren die Kirchspiele St. Michaelis und St. Jacobi.

Als Koch die Hansestadt besuchte und die örtlichen Zustände gewahrte, war er entsetzt: Ich habe noch nie solche ungesunden Wohnungen, Pesthöhlen und Brutstätten für jeden Ansteckungsstoff angetroffen wie in den sogenannten Gängevierteln, die man mir gezeigt hat, am Hafen, an der Steinstraße, an der Spitalerstraße oder an der Niederstraße, schrieb er. Ich vergesse, daß ich in Europa bin. (...)

Als die Epidemie im Oktober abklang, waren in Hamburg mehr als 8500 Menschen gestorben, 13 Promille der Bevölkerung. Im benachbarten Altona, das damals zu Preußen gehörte, waren es nur 2 Promille und in Wandsbek noch weniger.

Warum Hamburg – und nur diese Stadt – so heftig heimgesucht wurde, lag auf der Hand: Es entnahm sein Trinkwasser direkt aus der Elbe und hatte noch keine wirksame Reinigungsanlage.

Auch wenn wir bei Petra Oelker nicht erfahren, was sich Gerson in Struensees Mikroskop ansah, stellte er doch (fiktiv) einen Zusammenhang zwischen dem Wechsel- oder Marschenfieber (also der Malaria) und der Stechmücke her. Heute wissen wir natürlich, wie die Infektion erfolgt. Was aber konnte Gerson 1766 davon ahnen? Erst im Zusammenhang mit der Choleraepidemie von 1892 heißt es bei Ismar (2007): Auch Malaria taucht plötzlich im Hafen auf – eine Krankheit, die bisher unbekannt war. Sollte also Gersons Überzeugung aus heutiger Sicht etwas divinatorisch sein, so steht der Autorin diese dichterische Freiheit natürlich zu.

Gerson, der wissensdurstige Benutzer von Struensees Mikroskop, soll hier das letzte Wort haben: Zur Beobachtung durch das Mikroskopiorum gehört Licht, wie zur Sternguckerey Finsternis, aber auch Geduld und ein kühler Kopf (zitiert nach Winkle).

Literaturhinweise

Göke, G.: Streifzüge durch die Geschichte der Mikroskopie. Mikrokosmos 78, 76–81 (1989).

Ismar, G.: Kampf gegen Epidemien. n.tv Wissen, Donnerstag, 01. November 2007.

Väth, R.: Robert Hooke und die "Micrographia". Mikrokosmos 88, 129–138 (1999).

Vasold, M.: Robert Koch. Der Entdecker von Krankheitserregern. Spektrum der Wissenschaft Biographie. Heidelberg 2002.

Winkle, St.: Über die Krätze als eine "Geschichte der Irrungen". owww.aerztekammer-hamburg.de/.../

pdfs/1182260824 pdf.

Erich Lüthje, Kiel

Buchbesprechung

Engelmann, W. E., Lange, J. (Hrsg.): Wirbellose.
Wissenschaftlicher Verlag
Harri Deutsch,
Frankfurt am Main 2011,
1160 Seiten,
circa 830 Schwarzweißfotos,
gebunden, € 68,00,
mit Multiplattform-CD-ROM,
ISBN 978-3-8171-1684-3.

Das in erster Auflage erschienene Buch Wirbellose ist der sechste Band aus der Serie Zootierhaltung - Tiere in menschlicher Obhut. Die bereits 2005 bis 2009 herausgekommenen fünf Bände behandeln Fische, Reptilien und Amphibien, Grundlagen, Säugetiere und Vögel. Die hauptsächliche Zielgruppe des Werkes sind Tierpfleger von zoologischen Gärten. Daher wird besonderen Wert auf die Darstellung der Haltungsbedingungen der Tiere gelegt wie zum Beispiel die Ansprüche an Unterbringung und Ernährung. Nahezu alle Wirbellosenstämme werden berücksichtigt, wobei der Schwerpunkt auf Gruppen liegt, die häufig als Schautiere ausgestellt werden (z.B. Korallen, Krebse, Spinnen, Insekten, Stachelhäuter). Nicht minder wichtig ist die Zucht von Futtertieren; andere können als Parasiten von Bedeutung sein.

In den ersten Kapiteln werden die Lebensräume wirbelloser Tiere und ihre Bedeutung im Zoo sowie die Grundlagen der Riffaquaristik und Insektenhaltung dargestellt. Der Hauptteil umfasst die Vorstellung von Großgruppen der Organismen, aufgeschlüsselt nach aktuellen Systematiken bis hinab auf die Familienebene. Zahlreiche Autoren - dabei Mitarbeiter von Zoos, Museen und Universitäten, aber auch Hobby-Aquarianer haben als Spezialisten mitgewirkt. Die Informationen sind also sozusagen aus erster Hand.

Zunächst werden in der Regel die allgemeinen Baumerkmale der Organismengruppen und ihre natürlichen Lebensweisen beschrieben. Dann erfolgt eine detaillierte Angabe der bewährten Haltungsbedingungen. Über 800 Fotografien zeigen ein weites Spektrum von Tieren, deren Haltung mög-

lich ist. Leider sind die Abbildungen im Buch ausschließlich in Schwarzweiß, vermutlich aus preisgestalterischen Gründen. Die beiliegende CD-ROM bietet jedoch die gleichen Bilder in Farbe, die nun echte Hingucker sind: Absolut scharfe Aufnahmen in brillanten Farben.

Dieses Buch ist nicht nur ein wichtiges Nachschlagewerk für professionelle Wirbellosenhalter und -züchter in Tiergärten, sondern ein Glücksfall für alle, die sich ernsthaft mit Wirbellosen beschäftigen wollen. Statt eines Kuscheltiers mit Fell darf bei immer mehr Menschen im heimischen Wohnzimmer auch gerne Mal eine Vogelspinne mit samtiger Behaarung oder ein bizarr gebautes oder hübsch gezeichnetes Insekt krabbeln, oder ein Salzwasseraquarium mit Korallen und Krebsen das Auge erfreuen. Eine solche kompetente Anleitung, wie die Tiere artgerecht und gesund in ansprechender Umgebung zu halten sind, dürfte hier sehr willkommen sein.

Renate Radek, Berlin

Micromyces zygogonii und die Sternkörper der Jochalge Spirogyra

Bernd Laber

Der algenparasitische niedere Pilz Micromyces zygogonii entwickelt sich in Jochalgen der Gattung Spirogyra. Im Verlauf seines Entwicklungszyklus entstehen in den befallenen und dann häufig blasenförmig angeschwollenen Algenzellen auffällige, kugelförmige, mit Stacheln besetzte so genannte Sternkörper. Bei diesen handelt es sich um ein für diesen Parasiten charakteristisches Entwicklungsstadium, den Prosorus. Aus dem Prosorus entwickeln sich entweder über die Zwischenstadien Sorus und Sporangium sofort wieder infektiöse Zoosporen oder er dient als Dauerspore, die vor der weiteren Entwicklung eine längere Ruhephase durchläuft.

ie fadenförmigen, zu den Jochalgen (Konjugaten) gehörenden Algen der Gattung Spirogyra gehören zu den auffälligsten und häufigsten Süßwasseralgen. Besonders in nährstoffreicheren größeren Pfützen, Tümpeln und kleineren Teichen vermehren sie sich oft massenhaft und bilden dann grüne, schleimige Algenwatten, die bei Sonnenschein an die Oberfläche der Gewässer steigen. Aufgrund ihrer Häufigkeit und großen Verbreitung wurde Spirogyra schon 1741, also kurz nach der Erfindung des Mikroskops, das erste Mal

unter dem Namen Conferva beschrieben (Kolkwitz und Krieger, 1941). Der für die Jochalgen namensgebende Vorgang der geschlechtlichen Fortpflanzung, die Konjugation, wurde bereits 1782 von O. F. Müller entdeckt, aber erst von Vaucher (1803) in seiner Bedeutung erkannt. Bei der Konjugation verschmelzen die Protoplasten zweier Zellen, und es wird eine Zygote gebildet. Normalerweise findet die Konjugation zwischen den Zellen von zwei nebeneinander liegenden Fäden statt (leiterförmige Konjugation). Seltener konjugieren zwei benachbarte

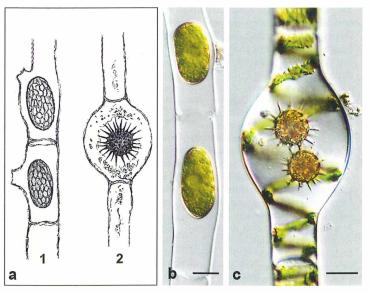


Abb. 1: a Zygoten (1) und Sternkörper (2) in Zellen von Mougeotia (nach Shadbolt, 1852); b Azygoten von Spirogyra sp.; c zwei Sternkörper von Micromyces zygogonii in einer blasenförmig angeschwollenen Spirogyra-Zelle. Messbalken 20 µm.

Zellen des gleichen Fadens (seitliche Konjugation). Gelegentlich kann man bei *Spirogyra* aber auch die Bildung so genannter Azygoten oder Aplanosporen beobachten, zygotenähnliche Bildungen, die ohne Konjugation aus dem Protoplasten einer einzigen Zelle entstehen. Eine ausführliche und reich illustrierte Beschreibung der verschiedenen Formen der Konjugation findet sich beispielsweise bei Kniep (1928). Die Zygoten und Azygoten von *Spirogyra* haben, genau wie die Zygoten der nahe verwandten Jochalgengattungen *Zygnema* und *Mougeotia*, immer eine glatte Oberfläche und sind mehr oder weniger eiförmig.

Sternkörper

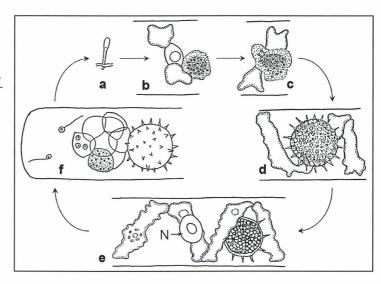
In der Mitte des 19. Jahrhunderts wurden aber auch kugelförmige, stachelige Körper, die Sternkörper, Asteridien oder Asterosphaerien, im Inneren der Zellen von fadenförmigen Jochalgen beschrieben (Shadbolt, 1852; Abb. 1a). Einige Forscher vermuteten damals, dass es sich hierbei um eine besondere Form von männlichen Geschlechtszellen oder um eine Weiterentwicklung von Zygoten handeln könnte. Aber schon Pringsheim (1856) widersprach dieser Ansicht vehement, und bereits De Bary (1858) vermutete in seiner klassischen Arbeit über die Konjugaten, dass es sich bei den Sternkörpern um parasitische Bildungen handeln könnte. Den Nachweis, dass es sich bei den Sternkörpern tatsächlich um das Entwicklungsstadium eines niederen und parasitischen Pilzes handelt, erbrachte aber erst Dangeard (1888), der diesem Pilz den Namen *Micromyces zygogonii* gab und erstmals seinen Entwicklungszyklus beschrieb.

Wohl aufgrund der besonders auffälligen Sternkörper finden sich in der Literatur mehrfach Beschreibungen des Entwicklungszyklus und Berichte über das Vorkommen von M. zygogonii. So wurden in den letzten 160 Jahren Funde aus Frankreich (Dangeard, 1888), England (Shadbolt, 1852; Canter, 1949), Spanien (Caballero, 1955), Deutschland (De Bary, 1858; Minden, 1911; Huber-Pestalozzi, 1931; Heidt, 1937; Rieth, 1950, 1956) und den USA (Couch, 1937) publiziert, was auf eine Verbreitung dieses Parasiten zumindest in der gesamten nördlichen Hemisphäre hindeutet. In den zitierten Arbeiten werden fadenförmige Jochalgen der Gattungen Zygogonium, Spirogyra, Zygnema und Mougeotia als Wirte genannt.

Eigenes Entdeckerglück

Im Juli 2011 wurde aus einer sehr großen und nur selten austrocknenden Pfütze in einem Wald bei Idstein eine Wasserprobe mit zahlreichen *Spirogyra*-Fäden entnommen. Auffällig war, dass diese nicht näher bestimmte *Spirogyra*-Art ausschließlich Azygoten gebildet hatte (Abb. 1b) und in der gesamten Probe keine durch Konjugation entstandenen Zygoten zu

Abb. 2: Der Entwicklungszyklus von M. zygogonii nach Canter (1949). a Der Inhalt einer eingekapselten Zoospore dringt in die Wirtszelle ein. b und c Junge, nackte, amöboide Thalli. d Kugelförmiger, nackter Thallus mit sich entwickelnden Stacheln, e Reifer Prosorus. f Leerer Prosorus mit einem aufgeplatzten Sorus aus Sporangien. In dem Sporangium ganz unten ist noch der homogene Inhalt, in dem Sporangium links daneben sind die sich entwickelnden Zoosporen zu sehen. Aus den anderen Sporangien sind die Zoosporen bereits ausgeschlüpft. Links in der Zelle zwei eingeißelige Zoosporen. N Spirogyra-Zellkern.



finden waren. Bei der genaueren mikroskopischen Durchmusterung der Probe fanden sich auch einige *Spirogyra-Zellen*, die blasenförmig aufgebläht waren und in ihrem Inneren die charakteristischen Sternkörper von *M. zygogonii* enthielten (Abb. 1c). Durch die wiederholte Untersuchung der Probe über mehrere Tage hinweg gelang eine eingehende Lebendbeobachtung sowohl der frühen als auch der späten Entwicklungsstadien dieses Parasiten. Die dabei gemachten Mikrofotos dienen zur Illustration der folgenden Beschreibung des Lebenszyklus von *M. zygogonii*.

Lebenszyklus von Micromyces zygogonii

Micromyces zygogonii P. A. Dang. 1888 gehört zu den Chytridiomyceten und in die Familie Synchytriaceae. Die Mitglieder der artenreichsten Gattung dieser Familie, Synchytrium, leben überwiegend als Parasiten in Blütenpflanzen, wo sie gallenartige Wucherungen erzeugen können, wie zum Beispiel der Erreger des Kartoffelkrebses, S. endobioticum. Die beiden anderen Gattungen der Familie, Micromycopsis und Micromyces, sind hingegen im Wasser lebende Parasiten von Jochalgen. Der gesamte Entwicklungszyklus der wahrscheinlich häufigsten und am weitesten verbreiteten wasserbewohnenden Art Micromyces zygogonii erfolgt endobiontisch, also vollständig im Inneren der befallenen Algenzelle. Im Gegensatz zu den meisten anderen algenparasitischen Pilzen wird im Verlauf der Entwicklung weder ein Myzel noch ein Rhizoid (ein fein verzweigtes wurzelartiges Organell) zur Aufnahme der durch die Zerstörung des Zellinhalts der Wirtszelle frei werdenden Nährstoffe gebildet.

Der Entwicklungszyklus (Abb. 2) beginnt mit einer durch eine einzelne Geißel bewegliche Zoospore, die, wenn sie eine als Wirt geeignete Algenzelle gefunden hat, auf deren Oberfläche zur Ruhe kommt, ihre Geißel einzieht, sich mit

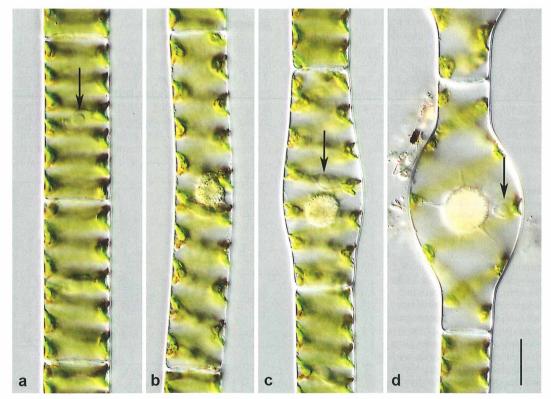


Abb. 3: a Zwei nicht infizierte Zellen von *Spirogyra* sp. b und c Nackte, amöboide Thalli von *M. zygogonii* im Inneren von *Spirogyra*-Zellen, die fast doppelt so lang wie nicht infizierte Zellen waren. d Kugelförmiger Thallus mit sich entwickelnden Stacheln. Pfeil: *Spirogyra*-Zellkern. Messbalken 20 µm.

einer Zellwand umgibt und ihr Protoplasma durch eine Pore in das Innere der Wirtszelle entleert. Leere Hüllen von Zoosporen, die auf der Außenseite der infizierten Wirtszelle zurückgeblieben waren (Canter, 1949), konnten in der Wasserprobe nicht beobachtet werden.

Der zu Anfang noch amöboid bewegliche nackte Protoplast (Thallus) des Parasiten, der sich durch sein helleres und mit stark lichtbrechenden Körnchen durchsetztes Zytoplasma deutlich vom Spirogyra-Zytoplasma (Abb. 3a, b) unterschied, wuchs ganz in der Nähe des Spirogyra-Zellkerns heran (Abb. 3c). Die Chloroplasten der Wirtszelle waren in dieser frühen Phase der Infektion unverändert, die Wirtszelle selbst aber häufig schon deutlich länger als eine nicht infizierte Algenzelle. Im Verlauf der weiteren Entwicklung rundete sich der Thallus des Parasiten ab, umgab sich mit einer Zellwand und entwickelte sich zu einem mit Stacheln besetzten Sternkörper weiter (Abb. 3d). Gleichzeitig schwoll die Spirogyra-Zelle blasenförmig an, die Spiralen des Chloroplasten erschienen lockerer gewunden und waren auseinandergezogen. Die sich entwickelnden Stacheln waren, genau wie die den Sternkörper umgebende Zellwand, zuerst zart, ungefärbt und durchscheinend (Abb. 3d), wurden aber schnell kräftiger, braun und mehr oder weniger undurchsichtig (Abb. 1c). Die Sternkörper hatten einen Durchmesser von circa 21 bis 25 µm, die Stacheln erreichten die für M. zygogonii charakteristische Länge von 8 bis maximal 11 um (Rieth, 1956).

Die weitere Entwicklung des Sternkörpers zeigte, dass es sich bei diesem um einen Prosorus handelt. War ein Sternkörper nämlich vollständig ausgereift, entleerte sich sein gesamter Inhalt durch eine Öffnung in das Innere der ietzt vollständig oder fast vollständig abgestorbenen Spirogyra-Zelle und bildete eine kugelförmige, von einer dünnen und glatten Zellwand umgebene, etwa 23 bis 26 µm große Plasmakugel, den jungen Sorus (Abb. 4a). Sein zuerst homogener Inhalt gliederte sich in 8 bis 16 tetraedrische Sporangien, die anschwollen, sich abrundeten und die Wand des Sorus sprengten (Abb. 4b). Der Inhalt jedes einzelnen Sporangiums entwickelt sich zu Zoosporen weiter, die durch Poren aus den Sporangien schlüpfen (Canter, 1949), womit der Entwicklungszyklus von M. zygogonii abgeschlossen ist. Die Freisetzung von Zoosporen aus den Sporangien konnte leider nicht beobachtet werden, sodass auch die in einem Präparat beobachteten 3 bis 4 um großen Zoosporen nicht mit Sicherheit M. zygogonii zugeordnet werden konnten. Normalerweise brach spätestens während der Entwicklung der Sporangien die befallene Zelle aus dem Spirogyra-Faden heraus. Dabei zerriss die Zellwand an mindestens einer Stelle, sodass Zoosporen problemlos ins Freie gelangen und eine neue Wirtszelle aufsuchen könnten. In der abgestorbenen Spirogyra-Zelle blieb nur der entleerte, aber immer noch sehr auffällige, stachelbesetzte Prosorus mit dem dazugehörenden, ebenfalls leeren Sorus zurück (Abb. 4c).

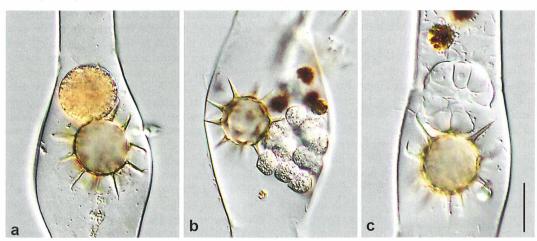


Abb. 4: a Sorus (oben) und entleerter Prosorus (unten). b Die Sporangien sind aus dem aufgeplatzten Sorus herausgequollen. c Entleerter Prosorus (unten) und dazugehörender entleerter Sorus (oben), in dem noch die Zellwandreste der Sporangien zu erkennen sind. Messbalken 20 µm.





Abb. 5: a In der frühen Phase der Infektion einer Spirogyra-Population entwickelte sich in der Regel nur ein Prosorus pro Zelle, die blasenförmig anschwoll.

b In der späten Phase der Infektion entwickelten sich in fast jeder Zelle mehrere Prosori, die Zellen schwollen aber nicht mehr an. In der unteren Zelle sind noch grün gefärbte Reste des Chloroplasten zu sehen, die in der oberen Zelle zu braunen, kugelförmigen Gebilden degeneriert sind. Messbalken 20 µm.

Sternkörper-Besonderheiten

Zu Beginn der Infektion, als erst wenige Spirogyra-Zellen von dem Parasiten befallen waren, entwickelte sich in der Regel nur ein, selten zwei Sternkörper pro Zelle und alle Zellen mit Sternkörper waren blasenförmig aufgebläht (Abb. 5a). Nachdem sich der Parasit innerhalb einer Woche in der Wasserprobe stark vermehrt hatte, wurden die Spirogyra-Zellen aber häufig von mehr als einem Parasiten befallen. Jetzt entwickelten sich meistens zwei oder drei, in einzelnen Fällen aber auch bis zu sechs Sternkörper in einer Zelle (Abb. 5b). Diese später gebildeten Sternkörper waren mit einem Durchmesser von 13 bis 16 µm deutlich kleiner als die zu Beginn des Befalls der Algenpopulation gebildeten. Auffällig war, dass die befallenen Zellen, selbst wenn sich in ihnen mehrere Sternkörper entwickelten, nicht mehr anschwollen. Auch die Bildung von Sori konnte in diesem späten Stadium der Infektion nur noch sehr selten beobachtet werden. Diese kleineren Sternkörper unterschieden sich, außer in ihrer Größe, unter dem Mikroskop zwar morphologisch nicht von den größeren, repräsentierten aber anscheinend ein physiologisch unterschiedliches Entwicklungsstadium.

Schon Rieth (1950) hatte bei seinen Untersuchungen an M. zygogonii das Auftreten von zwei unterschiedlich großen Populationen von Sternkörpern beobachtet. Er sicherte durch eine Vielzahl von Größenmessungen statistisch ab, dass es sich nicht um Individuen in verschiedenen Reifezuständen, sondern tatsächlich um zwei verschiedene, äußerlich sehr ähnliche Entwicklungszustände dieses Parasiten handelte. Die größeren Stachelkugeln, die sich einzeln oder zu zweit in angeschwollenen Wirtszellen fanden, entwickelten sich direkt erst zu Sori und dann zu Zoosporen weiter und ermöglichten so die schnelle Vermehrung von M. zygogonii. Bei den kleineren, später gebildeten Sternkörpern, von denen auch Rieth zwei bis sechs gleichzeitig in nicht angeschwollenen Spirogyra-Zellen beobachtete, handelte es sich dagegen um Dauersporen.

Entwicklung in zwei Phasen

Die Entwicklung von M. zygogonii in einer infizierten Spirogyra-Population durchläuft somit zwei Phasen. In der ersten entwickeln sich aus der die Algenzelle infizierenden Zoospore auf ungeschlechtlichem Wege und ohne Ruhephase sofort wieder infektiöse Zoosporen. Der in dieser Entwicklungsphase gebildete Prosorus entspricht den aus dem Entwicklungszyklus des Erregers des Kartoffelkrebses S. endobioticum bekannten Sommersporen. Die in der zweiten Entwicklungsphase gebildeten kleineren, als Dauersporen fungierenden Prosori entsprechen den Wintersporen des Kartoffelkrebses. Ob vor der Infektion der Spirogyra-Zellen, in denen die Dauersporen gebildet werden, ein Sexualvorgang stattfindet, oder ob auch die Dauersporenbildung auf asexuellem Wege erfolgt, ist bislang nicht bekannt.

Literaturhinweise

Caballero, F.: Acerca de *Micromyces Zygogonii* Dang., hongo parasito de las conjugadas. Anales de I. Botanico A. J. Cavanilles 13, 111–120 (1955).

Canter, H. M.: Studies on British chytrids. VI. Aquatic Synchytriaceae. Trans. Brit. Mycol. Soc. 32, 69–94 (1949).

Couch, J. N.: Notes on the genus *Micromyces*. Mycologia 29, 592–596 (1937).

Dangeard, P. A.: Memoire sur les Chytridinees. Le Botaniste 1, 39–74 (1888). http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k4325994.image.langEN.r=dangeard%20le%20botaniste

De Bary, A.: Untersuchungen über die Familie der Conjugaten (Zygnemeen und Desmidieen). Verlag A. Förstnersche Buchhandlung, Leipzig 1858. http://www.bsb-muenchen-digital.de/~web/web1022/bsb10229411/images/index.html?digID=bsb10229411&pimage=00001&v=pdf&md=1&l=de

Heidt, K.: Beitrag zur Kenntnis der Gattung Micromyces. Ber. Deutsch. Bot. Ges. 55, 204–217 (1937).

Huber-Pestalozzi, G.: Infektion einer *Mougeotia*-Population durch *Micromyces zygogonii* Dangeard an einem alpinen Standort. Hedwigia 71, 88–93 (1931).

Kniep, H.: Die Sexualität der niederen Pflanzen. Verlag Gustav Fischer, Jena 1928. http://caliban.mpipz.

mpg.de/kniep/index.html

Kolkwitz, R., Krieger, H.: Zygnemales. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora von Deutschland und der Schweiz, 13. Band, 2. Abt., 1–4 (1941). http://bib digital.rjb.csic.es/ing/Libro.php?Libro=1027& Hojas

Minden, M. von: Kryptogamenflora der Mark Brandenburg. Band 5, Heft 2, 280–282, Gebrüder Bornträger, Leipzig 1911. http://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/44531

Müller, O. E.: Flora Danica, Heft 15, Tafel 833, Jahr 1782. http://dia-prod-mas-01.kb.dk/GUIDResolver/template/single?src=online_master_arkiv/non-archival/DUP/floradanica/h15/floradanica_0883.tif

Pringsheim, N.: Zur Kritik und Geschichte der Untersuchungen über das Algengeschlecht (1856). In: Pringsheim, N. (Hrsg.): Gesammelte Abhandlungen. 1. Band. Befruchtung, Vermehrung und Systematik der Algen. S. 129–178. Verlag Gustav Fischer, Jena 1895. http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k98501g/f1.image.r=pringsheim.langEN

Rieth, A.: Beobachtungen zur Biologie und Entwicklungsgeschichte eines selteneren Süßwasseralgenparasiten aus der Verwandtschaft des Kartoffelkrebserregers. Naturw. Rundschau 6, 264–269

(1950).

Rieth, A.: Micromyces laevis Canter in Deutschland nebst einigen Bemerkungen über die wasserlebende, algenparasitäre Gruppe der Synchytriaceae. Genet. Resour. Crop Ev. 4, 27–45 (1956).

Shadbolt, G.: On the sporangia of some filamentous fresh-water algae. Trans. Microsc. Soc. London 3, 165–170 (1852). http://www.biodiversitylibrary.org/

bibliography/2483

Global

Vaucher, J. P.: Histoire des conferves d'eau douce, contenant leurs différents modes de reproduction, et la description de leurs principales espèces, suivie de l'histoire des trémelles et des ulves d'eau douce. Verlag J. J. Paschoud, Genf 1803. http://www.bio diversitylibrary.org/bibliography/11425

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



Global Nature Fund, Güttinger Str. 19, 78315 Radolfzell Tel. 07732/99 95-0, Fax 07732/99 95-77 globalnature@t-online.de

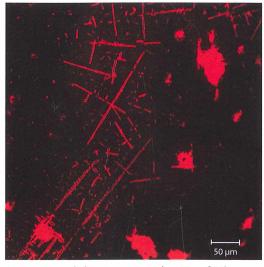
Kurze Mitteilung

Materialwissenschaftler der Universität Jena erschaften leuchtende Eiweißfasern

Die Herstellung von Nanomaterialien, also Materialien auf der Basis ultrakleiner Komponenten, ist aufgrund ihrer speziellen Eigenschaften von hohem Interesse für Materialwissenschaftler. Auch in der Natur sind solche feinen Strukturen wie beispielsweise Protein-Nanofibrillen weit verbreitet. So sind Kollagenfasern zum Beispiel wichtig beim Aufbau von Bindegewebe, Knorpel und Knochen, Aktin spielt eine Rolle bei der Muskelbewegung, Elastin bei der Elastizität von Sehnen, und Aktin und Tubulin bilden intrazelluläre Gerüststrukturen in Zellen.

Aufgrund der physikalischen Eigenschaften ihrer Moleküle sind diese Nanofibrillen in der Lage, sich selbstständig zusammenbauen, also ein so genanntes self assembly, eine Selbstorganisation, durchzuführen. Wie dies genau funktioniert, ist noch weitgehend ungeklärt. In der Materialwissenschaft finden Protein-Nanofasern jedenfalls inzwischen eine vielfältige Anwendung, beispielsweise in Gelen, Flüssigkristallen und Biosensoren oder als Gerüststrukturen für die Anheftung von Zellen und das Wachstum künstlicher Gewebe.

Materialwissenschaftler der Friedrich-Schiller-Universität Jena nutzen jetzt die Selbstorganisationsfähigkeiten von Fibronektin-Molekülen, um Nanofasern zu erzeugen. Im menschlichen Körper nimmt das Eiweiß Fibronektin eine Reihe wichtiger Funktionen wahr. Als Glykoprotein in der extrazellulären Matrix bindet es an Rezeptorproteine (Integrine) der Zellmembranen und hilft so beim Zusammenhalt von Geweben. Außerdem spielt es eine entscheidende Rolle bei der Blutgerinnung. Auch beim Gewebewachstum auf Implantaten ist Fibronektin ein wichtiger Faktor, erläutert Prof. Dr. Klaus D. Jandt vom Institut für Materialwissenschaft und Werkstofftechnologie (IMT) der Universität Jena. In ihren Experimenten konnten die Forscher seiner Arbeitsgruppe erstmals eine Selbstorganisation von Fibronektin zu Nanofasern in Lösung hervorrufen, ohne dass Zellen dabei beteiligt waren. Es gelang, extrem dünne und lange Eiweißfasern aus Fibronektin zu erzeugen (Wei et al., 2011). Sie sind nur 2 nm dick, das entspricht einem 25.000stel der Dicke eines menschlichen Haares. Anschließend induzierten die Forscher entlang der Nanofasern eine Verknüpfung mit so genannten Quantenpunk-



Die nur 2 nm dicken Fasern aus dem Eiweiß Fibronektin lassen sich durch die Kombination mit Quantenpunkten zum Leuchten bringen (Foto: Arbeitsaruppe Prof. Klaus D. Jandt, Jena).

ten, wodurch die Fasern zum Leuchten gebracht werden können. Bei Quantenpunkten handelt es sich um winzige Materialstrukturen zum Beispiel aus Halbleitermaterial, die definierte optische und elektronische Eigenschaften haben und etwa als Sonden eingesetzt werden. Wenn man die erzeugten Hybrid-Fibronektin-Fasern mit Laserlicht bestrahlt, beginnen die Quantenpunkte zu leuchten und machen die Nanofasern sichtbar. Mit diesem biophotonischen Hybridmaterial können beispielsweise Prozesse an Grenzflächen zwischen künstlichen Materialien und lebenden Zellen sichtbar gemacht werden, oder sie könnten als Baustein für neue Implantatmaterialien verwendet werden. Sie haben mit Sicherheit ein hohes Potenzial in der (Bio-)Materialwissenschaft und als Sonden in der Biophysik.

Literaturhinweis

Wei, G., Keller, T. F., Zhang, J., Jandt, K. D.: Novel 1-D biophotonic nanohybrids: protein nanofibers meet quantum dots. Soft Matter 7 (2011) (DOI: 10.1039/c0sm01037e).

Renate Radek, Berlin

Alte und neue Tonträger – Ein mikroskopisch-visueller Vergleich

Hinrich Husemann

Beim Aufräumen seiner Schränke fielen dem Verfasser etwas in Vergessenheit geratene Musik-Konserven aus den Fünfzigern bis Siebzigern – schwarze 45er Singleund 33er LP-Scheiben, thematisch reichend von Glenn Millers Moonlight-Serenade bis Beethovens Mondschein-Sonate – mal wieder in die Hände. Bei nachdenklicher Betrachtung dieser "Antiquitäten" kam ihm als Mikroskopiker die Idee zu einem rein phänomenologisch-visuellen – und damit natürlich mikroskopischen – Vergleich ihrer Speicherstrukturen mit denen ihrer modernen Nachfolger, der CDs und DVDs. Der sei im Folgenden versucht.

ie erste Abbildung möge zunächst einmal an die hier interessierenden Untersuchungsobjekte erinnern: Eine große 33er LP (Langspielplatte), eine kleine 45er Single (die Zahlen geben die Umdrehungen pro Minute beim Abspielen an), dazu als Vergleich - äußerlich kaum unterscheidbar - eine CD (Compact Disc) und ihre Nachfolgerin, eine DVD (Digital Versatile Disc). Auf den Flächen aller dieser Scheiben ist die enthaltene Information in gedrängt engen, spiralig verlaufenden Spuren - als Rillen bei Ersteren, als dichte Folge kleiner Vertiefungen (pits) bei Letzteren – gespeichert, aus denen sie beim Abspielen durch Abtasten ausgelesen wird. Bei den klassischen Schallplatten geschieht das mechanisch mittels spitzer Nadeln vom äußeren Rand nach innen führend, bei den CDs und DVDs optisch

mittels der Brennpunkte fokussierter Laser-Lichtbündel umgekehrt von innen nach außen. Die genaueren physikalisch-technischen Funktionsweisen der verschiedenen Systeme sind aber nicht Gegenstand dieser Betrachtung. Es geht hier ausschließlich um direkt optisch wahrnehmbare Details (was natürlich ein weitergehendes Interesse nicht behindern sollte). Zunächst seien hier die beiden Klassiker näher betrachtet.

Schallplatten

Dem normalen menschlichen Auge wird allgemein ein Winkel-Auflösungsvermögen von etwa 1 Bogenminute = 1' = (1/60)° zugeschrieben. Etwas bequemer geht es wohl mit 2'.



Abb. 1: Beispiele für hier untersuchte Objekte: 33er LP, 45er Single, CD und DVD.

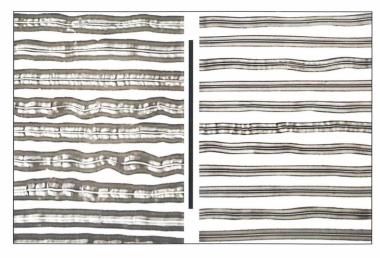


Abb. 2: Mikro-Aufnahmen (gleiche Maßstäbe, ca. 44:1) der Oberflächen von Schallplatten: links 45er Single, rechts 33er LP. Objektiv Epiplan 8/0,20. Maßstrich 1 mm.

Zunächst interessierte, inwieweit damit dicht nebeneinander liegende, praktisch parallele linienförmige Spuren – also quasi Linien-Gitter – bei einfacher Betrachtung aus der konventionellen Sehweite von 250 mm noch als separat zu erkennen sind. Wie die (hier nicht durchgeführte) einfache Rechnung zeigt, ergibt sich daraus für gerade noch visuell auflösbare Linienabstände d (Gitterkonstanten) ein Grenzwert von etwa 0,07 mm, was einer Liniendichte (1/d) – auch Raum- oder Ortsfrequenz genannt und üblicher Weise in Linienpaaren pro Millimeter, abgekürzt LP/mm, angegeben - von etwa 14 LP/mm entspricht. Mit bloßem Auge sind so die Tonspuren beider Schallplatten wenn auch nicht sicher mehr frei abzählbar noch recht deutlich zu erkennen; ihre Liniendichte liegt also noch merklich unterhalb dieses Grenzbereiches. Das ergibt sich schon daraus, dass deren Abtastung ja mechanisch mit relativ großen Nadeln oder Spitzen erfolgt. Das Linienmuster der 45er Single erschien schon dabei als ein wenig gröber.

Die genauere Untersuchung wurde unter dem Auflicht-Mikroskop – hier ein ZEISS Universal mit Auflichtkondensor II C – durchgeführt. Generell wurde mittels einer aufgesetzten Halbformat-Digitalkamera Pentax K-m (Sensor 23,5 × 15,7 mm, 10 Mega-Pixel) mit deren jeweils passend eingestelltem (18–55 mm)-Zoom-Objektiv durch das Okular fotografiert. Als Mikroskop-Objektiv geeignet erschien hier bei den etwas gröberen Strukturen der Schallplatten ein Epiplan 8/0,20. Die Abbildung 2 zeigt zwei jeweils gleich große Ausschnitte aus deren Oberflächen, links der 45er Single, rechts

der 33er LP. Dazwischen befindet sich ein Maßstrich für 1 mm = 1000 µm, abgeleitet aus dem Bild eines unter gleichen Bedingungen aufgenommenen Objektmikrometers (Abbildungsmaßstab im Bild circa 44:1).

Wie damit ablesbar, schwankt die mittlere Spurweite bei der 45er Single um etwa 170 µm entsprechend etwa 6,0 LP/mm; bei der 33er LP von etwa 130 bis 135 µm entsprechend etwa 7,5 LP/mm, damit also schon merklich enger. Das passt durchaus zu den oben beschriebenen Vorstellungen über das Auflösungsvermögen des Auges. Auch das erwähnte etwas leichtere Erkennen der Tonspuren bei der 45er Single bildet sich hier ab.

Anmerkung: Für einen visuellen Vergleich zwischen LPs und Singles einerseits mit den CDs und DVDs andererseits wäre an sich ein gleicher Abbildungsmaßstab aller Bilder wünschenswert. Wegen der enormen Größenunterschiede der hier zu vergleichenden Details (Faktoren von 100× bis 200×) erschien das aber bei einheitlicher, begrenzter Bildgröße als kaum praktikabel.

CDs und DVDs

Bei den CDs, mehr noch bei den DVDs, gestalteten sich die Untersuchungen schwieriger. Der Grund liegt in der gut 1 mm starken Schicht aus organischem Glas (Polycarbonat), welche die Ebenen der Ton- und Bildspuren auf deren Abtastseite abdeckt. Da hier die Liniendichten um Faktoren der Größenordnung 100 (!) höher liegen als bei den Schallplatten, benötigt man

zum deutlichen Sehen und Abbilden stärkere Objektive. Für deren höhere Aperturen und somit kürzere Arbeitsabstände ist diese Schicht aber zu dick. Ein Ausweg bestand darin, die im Wesentlichen aus Aluminiumfolie bestehende Oberseite der CDs vorsichtig zu entfernen beziehungsweise die aus zwei Schichten bestehenden DVDs der Fläche nach zu spalten (natürlich verbunden mit deren endgültiger Zerstörung). Beobachtung und Abbildung der so freigelegten, nun mikroskopisch zugänglichen Spurebenen geschah dann wieder im Auflicht.

Bei den CDs und DVDs gibt es außerdem noch prinzipielle Varianten: Solche, die bereits fest vorgeprägt sind – CD-ROM heißen sie bei Ersteren – und solche, die in den entsprechenden Einrichtungen (Brenner) der PCs selbst beschrieben (gebrannt) werden können. Sie unterscheiden sich bei jeweils gleicher Breite ihrer Ton- und Bildspuren aber in deren Aufbau sowie den physikalisch-optischen Prinzipien der Auslesetechnik (Intensitätsänderung des reflek-

tierten Abtaststrahls durch Interferenz bei Ersteren, durch Änderung des Reflexionsvermögens der Spurschicht bei Letzteren), was hier jedoch nicht weiter verfolgt werden soll.

Unter diesen Voraussetzungen wurden Bilder von noch unbeschriebenen und von bereits fertig geprägten CDs und DVDs aufgenommen. Um deren sehr kleine Strukturen noch bequem erkennen und ausmessen zu können, geschah das einheitlich mit einer möglichst hohen Bildvergrößerung, hier mit Objektiv Epiplan 80/0,95 bei Optovar-Stellung 2×, Okular W Kpl 16×/16 und maximaler Objektiv-Brennweite (55 mm) der oben genannten Kamera.

In Abbildung 3 sind die so erzeugten, jeweils flächengleichen Bildausschnitte ihrer Spurebenen einander zum Vergleich gegenübergestellt, links die der CDs, rechts die der DVDs. Die oberen Bilder zeigen jeweils die der unbeschriebenen, die unteren die der beschriebenen beziehungsweise fertig geprägten CDs oder DVDs. Die Bildbreite entspricht jeweils einer Strecke

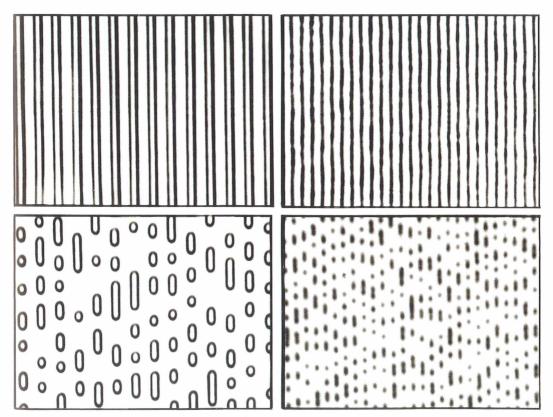


Abb. 3: Mikro-Aufnahmen (gleiche Maßstäbe, 3.500:1) der Spurebenen von CDs (links)und DVDs (rechts), oben jeweils unbeschrieben, darunter beschrieben. Objektiv Epiplan 80/0,95. Bildweite jeweils 20 μm.

von 20 µm im Objekt (Abbildungsmaßstab im Bild circa 3.500:1)

Zur exakteren Vermessung ihrer Spurweiten wurden die CDs und DVDs sowie ein Auflicht-Objektmikrometer durch ein mit Mikrometer-Einsatz versehenes Okular Kpl 10×/18 unter jeweils gleichen Bedingungen fotografiert und die Bilder auf DIN A4-Blättern ausgedruckt. Auf diesen ließ sich dann die Kalibrierung des Okularmikrometers und die anschließende Vermessung der Spurweiten beziehungsweise Liniendichten mit diesem bequem und mit guter Genauigkeit durchführen. Gemittelt ergaben sich so für die CDs beider Typen 1,50 µm, rechnerisch entsprechend 667 LP/mm, und für die DVDs jeweils 0,75 µm entsprechend 1333 LP/mm. Verglichen mit den klassischen Schallplatten haben die CDs also eine größenordnungsmäßig 100fach, die DVDs eine 200fach höhere Liniendichte!

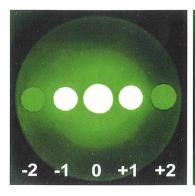
CDs und DVDs als Beugungsgitter

Wie die Abbildung 1 erkennen lässt, zeigen die auf der Ausleseseite ja an sich farblos silbrigen CDs und DVDs auffällige fächerförmige Farbeffekte. Diese entstehen durch Beugung und Interferenz des Lichtes an den eng und äquidistant liegenden Ton- und Bildspuren, die zusammen mit der hinterlegten Aluminiumfolie Reflexionsgitter mit den oben angegebenen Spurweiten als Gitterkonstanten darstellen. Entfernt man vorsichtig die intransparente Aluminiumfolie, erhält man auch im Transmissionsmodus wirkende Beugungsgitter, die allerdings nicht sehr kontrastreich sind. Deren Gitterkonstanten beziehungsweise Liniendichten lassen sich auch mit Hilfe der Abbe'schen Theorie bestimmen. Der Verfasser hat in dieser

Zeitschrift vor einigen Jahren solche Themen behandelt (Husemann, 2005, 2006). Bezüglich der hier benötigten Grundvorstellungen zur wellenoptischen Theorie der Abbildung im Mikroskop sei unter anderem auch darauf verwiesen.

Ihre Beugungsbilder in der hinteren Brennebene der Objektive – Abbes primäre Bilder – stellen mathematisch gesehen durch die Aperturblende beschnittene Fourier-Transformationen der Objekte (bzw. deren Transmissionsfunktion) dar. Sie enthalten damit die gleichen Informationen wie die im Okular sichtbaren sekundären Bilder, aber anders verschlüsselt und müssen nur entsprechend anders ausgelesen werden. Das erfolgte hier im Durchlichtverfahren.

Bei möglichst eng-aperturiger und monochromatischer Beleuchtung (Kondensorblende genügend eng zugezogen, Interferenzfilter 551 nm grün im Filterhalter) wurde das Mikroskop zunächst auf das jeweilige Gitterobjekt scharf fokussiert. Bei herausgenommenem Okular oder bequemer durch ein Hilfsmikroskop (bzw. Optovar in Ph-Stellung) wurde dann die von seiner Aperturblende eingerahmte hintere Brennebene des Objektivs – also die so genannte Fourier-Ebene - beobachtet und fotografiert; hier mit einem Durchlicht-Objektiv Apo 40/0,95 korr. Die Abbildung 4 zeigt links das dann dort sichtbare Beugungsbild einer CD, rechts das einer DVD. Die ausgeleuchtete Fläche der eng gestellten Aperturblende des Kondensors als stellvertretende Lichtquelle wird in die Aperturblende des Objektivs und damit auch in die von diesem dort erfassten - am Gitter erzeugten - Beugungsordnungen abgebildet. Während im primären Bild der CD neben der sehr hellen zentralen 0. Ordnung (direktes Licht) auch links und rechts die jeweiligen Lichtquellenbilder der auch recht hellen 1, und auch noch der



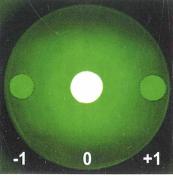


Abb. 4: Aufnahmen der Beugungsbilder (Fourier-Ebene), Objektiv Apo 40/0,95, λν = 551 nm. Die erfassten Beugungsordnungen sind bezeichnet. Links CD, 0., 1., 2. Ordnungen; rechts DVD, 0., 1. Ordnungen (beide Scheiben unbeschrieben).

lichtschwächeren 2. Ordnungen erfasst werden, enthält das der DVD neben der 0. nur noch die der beiden 1. Ordnungen. Diese liegen hier aber praktisch im gleichen Abstand von der Mitte wie die beiden 2. Ordnungen im Bilde der CD. Schon daraus ist unmittelbar zu erkennen, dass die Spurweite (Gitterkonstante d) der DVD nur noch halb, ihre Liniendichte (1/d) also doppelt so groß ist wie die der CD. Aus den Fourier-Bildern der Abbildung 4 lassen sich, da Numerische Apertur NA des Objektivs und Vakuum-Wellenlänge λv des Lichtes bekannt sind, auch die jeweiligen Gitterkonstanten bestimmen. Dazu benötigt man noch den Radius r der eingrenzenden Aperturblende und die Abstände a(i) der Mitten der Beugungsordnungen i vom Bildzentrum (Mitte 0. Ordnung). Herleitung: Allgemein gilt ja bei Beugung am Gitter mit gerader (d. h. senkrechter, quasi paralleler) Beleuchtung für den Beugungswinkel $\alpha(i)$ der i-ten Ordnung sin $\alpha(i) = i \times [\lambda v/d]$ und damit

$$d = i \times [\lambda v/\sin \alpha(i)], mit i = 1, 2, 3 \dots$$

Formel 1

Bei der mikroskopischen Abbildung muss die Abbe'sche Sinusbedingung gelten. Diese fordert den Zusammenhang $a(i)/r = \sin \alpha(i)/NA$ und deshalb auch (nach Umformen)

$$d = i \times \lambda v/[(a(i)/r) \times NA], mit i = 1, 2, 3 ...$$

Formel 2

Zu messen sind also r und a(i) Da die Fourier-Bilder symmetrisch sind, geschieht das bequemer durch Messung des Durchmessers 2 r der Blende und des jeweiligen Abstandes 2 a(i) der Mitten der einander gegenüberliegenden Beugungsbilder i-ter und –i-ter Ordnung.

Beispiel: Aus einem Fourier-Bild der DVD wurde für die 1. Ordnung (nur diese ist ja noch erfasst) a(1)/r bestimmt zu 50 mm/64 mm = 0,78. Mit NA = 0,95 und $\lambda v = 551$ nm ergab sich d = 0,551 μ m/(0,78 × 0,95) = 0,743 μ m, sinnvoll gerundet zu 0,74 μ m; also im Rahmen der Fehlergrenzen in guter Übereinstimmung mit den oben ermittelten Werten.

Einige vergleichende geometrische Betrachtungen

Interessant ist vielleicht noch ein Vergleich der jeweils maximalen Länge L_{max} der Spurlinien auf den verschiedenen Plattentypen. Zu deren

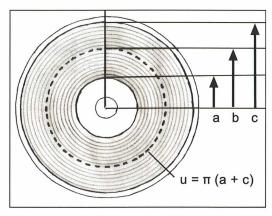


Abb. 5: Hilfsskizze zur Ermittlung der maximalen Spurlänge L_{max} Erläuterungen siehe Text.

Abschätzung – mehr kann es nicht sein – denkt man sich zweckmäßig ihren real spiralförmigen Verlauf durch zum Platten-Mittelpunkt konzentrische, äquidistante Kreislinien (jeweils Abstand d zwischen benachbarten) ersetzt. Die verschiedenen Spurweiten d beziehungsweise Liniendichten (1/d) sind ja bereits bekannt; bezüglich der weiteren, zur Berechnung von L_{max}benötigten Größen und ihre Ermittlung sei Abbildung 5 behilflich.

Allgemein erhält man so L_{max}, wenn man die Umfänge u(i) = $2 \pi r(i)$ (mit i = 1 bis N) aller so auf die jeweilige Platte passenden konzentrischen Kreise summiert. Alternativ kann man auch deren Mittelwert u = $2 \pi r(m) [r(m) =$ Mittelwert aller N Radien] mit der Zahl N der Kreise multiplizieren, das heißt $L_{max} = N \times u =$ $N \times 2 \pi r(m)$. In Abbildung 5 ist a der innere, c der äußere Radius des mit den Kreisspuren besetzten Feldes. Da die Radien r(i) zwischen a und c monoton und äquidistant ansteigen (zwei aufeinander folgende unterscheiden sich jeweils um den konstanten Betrag d, siehe oben), gilt dort r(m) = b = (c + a)/2 und damit $L_{max} =$ $N \times \pi$ (c + a) und aus gleichem Grund auch N = (c - a)/d. Damit ergibt sich für die jeweils maximale Spurlänge unter Benutzung der Liniendichten (1/d) : $L_{max} = N \times u = \pi (1/d) (c + a)$ (c - a), ausmultipliziert also

$$L_{max} = \pi (1/d) (c^2 - a^2)$$
 Formel 3

Bei den Schallplatten gilt diese Rechnung natürlich nur für jeweils eine der beiden Seiten. Abschließend sind in der folgenden Tabelle die Scheiben-Durchmesser D in cm, die oben ermittelten Spurweiten d in µm und Liniendich-

Tabelle	1:	Tonträgerparameter.					

System	D cm	d hw	(1/d) LP/mm	a mm	c mm	N	L _{max} m	t _{max} min
45er Single	1 <i>7</i>	170	6,0	54	84	180	80*	5*
33er LP	30	135	7,5	65	145	600	400*	23*
CD	12	1,50	667	22	58,5	24.345	6.200	80
DVD	12	0,75	1333	22	58,5	48.655	12.300	120

D Durchmesser, d Spurweite, (1/d) Liniendichte, a, c innerer und äußerer Radius des Spurenfeldes, N Zahl der Kreise im Spurenfeld, L_{max} maximale Spurlänge, t_{max} maximale Spielzeit (* jeweils nur auf eine der beiden bespielten Seiten bezogene Werte).

ten (1/d) in LP/mm, die gemäß Abbildung 5 einfach mit dem Lineal in mm gemessenen Grenzradien-Werte a und c, die daraus für N und endlich nach Formel 3 für $L_{\rm max}$ (letztere etwas großzügiger gerundet, in Metern!) ermittelten Werte der vier hier behandelten Systeme zusammengestellt.

Die so abgeschätzten maximalen Spurlängen – also rein geometrische Größen - können aber für sich allein die gesamten Informationskapazitäten der untersuchten Systeme noch nicht voll beschreiben. Dazu müsste zusätzlich die jeweils pro Längeneinheit der Spur speicherbare, also spezifische Informationsmenge bekannt sein und als Faktor in die Berechnung mit eingehen (was diese rein geometrische Betrachtung überschreiten würde). Sie ist natürlich auch noch für die verschiedenen Systeme unterschiedlich, beispielsweise bei der DVD wesentlich größer als bei der CD. Ergänzend sind noch ungefähre Spieldauern t_{max} in Minuten – wie meist auf den Scheiben angegeben - mit aufgeführt (Tab. 1).

Auch schon bei dieser vereinfachten und unvollständigen Betrachtung erscheinen die Un-

terschiede zwischen Alt und Neu als beeindruckend. Es ist doch erstaunlich, dass die schnell rotierenden Scheiben der CDs und DVDs bei Spurweiten, die – zumindest bei Letzteren – gar nicht so weit entfernt vom Auflösungsvermögen mittlerer Mikroskop-Objektive liegen, in normalen konventionellen Standardgeräten korrekt ausgelesen werden können und dass auf ihnen bei nur 12 cm (!) Durchmesser abtastbare Spuren von etwa 6 km beziehungsweise 12 km (!) Länge untergebracht sind.

Literaturhinweise

Husemann, H.: Bestimmung Numerischer Aperturen. Teil 2: Mittels der Abbe'schen Theorie. Mikrokosmos 94, 337–344 (2005).

Husemann, H.: Gitterkonstanten von Diatomeen. Mikrokosmos 95, 115–121 (2006).

Internet-Lexikon WIKIPEDIA, Stichworte Schallplatte, CD, DVD.

Verfasser: Dr. rer. nat. Hinrich Husemann, Molinder Grasweg 31, 32657 Lemgo



Mikroskopische Studien an Organen des Stofftransportes wirbelloser Tiere

Siegfried Hoc

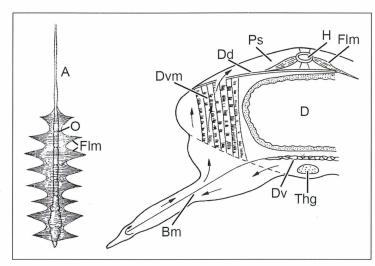
Der Stofftransport im Körper der höher entwickelten Tiere wird durch ein Kreislaufsystem bewerkstelligt. Der Antrieb ist eine als Pumpe funktionierendes "Herz". Auch wirbellose Tiere verfügen über ein solches Kreislaufsystem. In den meisten Fällen handelt es sich um einen offenen Blutkreislauf. Aber auch ein geschlossener Blutkreislauf kommt vor. Leicht zu beschaffende Studienobjekte für Organe des Blutkreislaufes bei Wirbellosen sind Regenwurm, Kreuzspinne, Heuschrecke und Weinbergschnecke. Allerdings sind Kenntnisse in der Anfertigung von histologischen Präparaten unbedingte Voraussetzung für das Studium der Organe.

er Stofftransport im Körper der Tiere erfüllt vier lebenswichtige Aufgaben: Er befördert die Nährstoffe vom Resorptionsort zu den Verbrauchs- und Speicherorten, er befördert Produkte des Stoffwechsels von Geweben zu Ausscheidungsorten sowie Speicherstoffe zu Verbrauchsorten und er bringt innere Sekrete (Hormone) zu ihren Wirkorten.

Bei einfach gebauten Organismen wie beispielsweise Nesseltieren (Cnidaria) und Rippenquallen (Ctenophora) findet der Stofftransport von Zelle zu Zelle statt oder es sind wie bei den Schwämmen (Porifera) amöboide Wanderzellen vorhanden, die sich mit Stoffen beladen und diese an einer anderen Stelle wieder abgeben. Bei Plattwürmern (Plathelminthes) und Fadenwürmern (Nematoda) werden die Stoffe durch Diffusion im Körper verteilt. Alle höher entwickelten Tiere besitzen ein besonderes System von Hohlräumen, das dem Stofftransport dient.

Ein Hohlraumsystem ist in einfachster Ausgestaltung auch schon bei Schwämmen, Nesseltieren, Rippenquallen und Plattwürmern in Form einer afterlosen Darmhöhle vorhanden. Dieses so genannte Gastrovaskularsystem ist durch den ganzen Körper verzweigt. Dadurch werden die aufgenommene Nahrung im Körper verteilt und Stoffwechselendprodukte abtransportiert.

Abb. 1: Links: Insektenherz (Käfer *Dytiscus*) mit Flügelmuskeln (Flm). A Kopfaorta, O Ostium. Rechts: Kreislauf in einem Thoraxsegment. Bm Bindegewebsmembran, die den Blutraum des Beines teilt, D Darm, Dd und Dv dorsales und ventrales Diaphragma, Dvm dorsoventrale Muskulatur, Flm Flügelmuskel, H Herz, Ps Perikardialsinus, Thg Thoraxganglion (nach Kästner, 1972).



Blutgefäßsystem

Bei den höher entwickelten Tiergruppen wie den Ringelwürmern (Annelida), Gliederfüßlern (Arthropoda), Weichtieren (Mollusca) und schließlich den Chordatieren (Chordata) dient dem Stofftransport ein Blutgefäßsystem. In diesem wird die Transportflüssigkeit in steter Bewegung gehalten und in bestimmter Richtung an den Geweben vorbeigeführt. Den Antrieb für den Kreislauf liefert die Saug- und Druckwirkung kontraktiler Abschnitte dieses Systems. In der Regel handelt es sich um einen Hohlmuskel, der als Herz bezeichnet wird. Durch Klappen im Herz und in Gefäßen wird die Strömungsrichtung einsinnig festgelegt. Nur bei den Manteltieren (Tunicata) wechselt die Strömungsrichtung regelmäßig, da sich die Richtung der durch das Herz erzeugten Kontraktionswellen periodisch umkehrt.

Offenes Blutgefäßsystem

Weichtiere und Gliederfüßler besitzen keine Gefäße im strengen Sinne. Sie haben ein dorsales Herz, aus dem die Blutflüssigkeit unmittelbar oder durch Gefäßstämme in die Körperhöhle zwischen den Organen hinausströmt. Aus ihr wird das Blut durch zuführende Gefäßstämme wieder in das Herz gesaugt (Abb. 1). Bei den Insekten läuft der segmentierte Herzmuskelschlauch in eine bis in den Kopf ziehende Aorta aus (Abb. 1). Das Herz hängt in der Regel an einer nach oben gewölbten, seitlich von Öffnungen durchbrochenen Schicht (Lamina) aus Bindegewebe, das als dorsales Diaphragma bezeichnet wird. In diesem verlaufen fächerförmig am Herzschlauch und außen am Exoskelett ansetzende Muskelfasern, die das Diaphragma nach unten schwingen lassen. Dadurch wird das Blut in den perikardialen Raum über dem Diaphragma befördert und der Herzschlauch erweitert. Spaltenförmige, mit Ventilklappen versehene Öffnungen (Ostien) nehmen das Blut ins Herz auf. Durch eine von hinten nach vorne hin laufende Kontraktionswelle der Herzmuskulatur wird das Blut durch die Aorta hinausgepresst, während die Diaphragmenmuskeln erschlaffen. Um die Blutzirkulation durch dünne und lange Körperteile wie Flügel und Beine zu fördern, sind zusätzliche pulsierende Organe und die Strömung regulierende Diaphragmen vorhanden (Abb. 1).

Geschlossenes Gefäßsystem

Bei den Ringelwürmern verästeln sich die von den großen Hauptgefäßen oder vom Herzen ausgehenden Gefäße und führen den einzelnen Organen Blut zu. In den Organen verzweigen sich die Gefäße in Kapillaren (Haargefäße), die sich nicht nur gabeln, sondern auch Netze mit Querverbindungen bilden. Die Kapillaren münden wieder in größere abführende Gefäße. Die das Blut vom Herzen wegführenden Gefäße nennt man Arterien, die zum Herzen zurückführenden Gefäße Venen.

Der Motor des Blutkreislaufes ist das Herz mit seinen Pumpschlägen. In den Schlagpausen wird das Blut zusätzlich durch den Druck elastischer Gefäßwände vorwärts gepresst (Windkesselfunktion): Die Wände der großen Arterien werden dadurch gedehnt, dass bei einem Herzschlag nicht so viel Blut durch die Kapillaren in die Venen hindurchtreten kann, als vom Herzen in die Arterien eingepresst wird. Dadurch staut sich das Blut in den Arterien, ihre Wände dehnen sich und in den Schlagpausen des Herzens treiben sie dann infolge ihrer Entspannung das Blut vorwärts.

Der Stofftausch zwischen Blut und Gewebe findet in den Kapillaren statt, deren Wände aus nur einer Zellschicht bestehen. Nur hier treten im geschlossenen Gefäßsystem Nahrungsstoffe und Sauerstoff aus dem Blut aus und Stoffwechselprodukte in das Blut ein. Aufgenommen und abgegeben werden sie von der Gewebsflüssigkeit, der Lymphe. Sie erfüllt die Gewebelücken und umspült die Zellen. Für die-

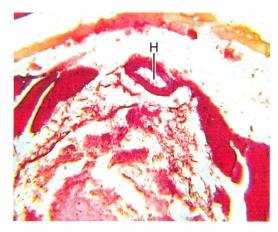


Abb. 2: Spinnenassel (*Scutigera*, Hundertfüßer). Querschnitt mit Herz (H). Vergr. 50fach.

sen Stoffaustausch steht eine riesige Berührungsfläche zwischen Blutstrom und Gefäßen zur Verfügung: Bei großen Säugetieren einschließlich des Menschen beträgt die gesamte Oberfläche der Kapillaren mehrere tausend Quadratmeter.

Gliederfüßler

Die artenreichen Gliederfüßler (Arthropoda) besitzen ein offenes Blutkreislaufsystem. Als Motor dient ein dorsomedianes Rückengefäß. Dieser Herzschlauch empfängt keine Venen, er nimmt die Hämolymphe aus einem umgebenden Blutsinus durch hintereinander (metamer) angeordnete Öffnungen (Ostien) auf, die durch Klappen verschließbar sind. Am Vorder- und Hinterende geht der Herzschlauch jeweils in eine Aorta über. Bei Cheliceraten – beispielsweise bei Skorpionen und Spinnen - sendet das Herz paarige Seitenarterien aus. Ihre Verzweigungen entlassen die Hämolymphe in Gewebslücken (Mixocoel). Darin sammelt sich das Blut in längs verlaufenden ventralen Lakunen, aus denen es dorsal zum Herzen aufsteigt und schließlich in den das Herz umgebenden Perikardialsinus gelangt. Aus ihm saugt das Herz bei der Diastole durch die Ostien das Blut ein. Bei der anschließenden Systole schließen sich die Ostienklappen, so dass die Hämolymphe durch Aorten wieder in den Kreislauf gepumpt wird.

Das Herz einer Spinne besteht aus einem Ringmuskelschlauch, dem außen eine dünne Lage Längsmuskeln sowie Bindegewebe aufgelagert ist. Die Hämolymphe enthält als Atempigment Hämozyanin und vier verschiedene Blutzellen. Die Insekten (Hexapoda) haben ebenfalls ein kontraktiles Rückengefäß als Motor des Kreislaufsystems. Der hintere Abschnitt des Rückengefäßes besitzt Ostien und seitlich ansetzende dreieckige Muskelpaare; es ist das eigentliche Herz. Der vordere Abschnitt ist ein einfaches Rohr und wird als Aorta bezeichnet. Die Wand des Insektenherzens besteht aus Ringmuskeln, denen eine Bindegewebsschicht (Adventitia) aufliegt. Das Herz ist mit Bindegewebsfasern an den Rückenplatten (Tergiten) des Abdomens und oft auch an der dorsalen Perikardialmembran aufgehängt. Das System funktioniert bis auf kleine Unterschiede im Wesentlichen so, wie bei den Spinnen beschrieben (Abb. 1 und 2).

Bei der Mehrzahl der Insekten wird die im Herzen enthaltene Hämolymphe durch die Aorta in den Kopf gepresst. Im Sinus, deren Wand von der bindegewebigen Bekleidung der umgebenden Organe gebildet wird, gelangt es dann in den Thorax (Brustbereich), in die Beine und in die Flügel. Akzessorische pulsierende Organe unterstützen zusätzlich den Kreislauf.

Die Hämolymphe ist bei den durch Tracheen atmenden Insekten nur in Ausnahmefällen ein Sauerstoff-Transporteur, so etwa bei Erstlarven, deren Tracheen noch mit Flüssigkeit gefüllt sind, oder bei *Chironomus*-Larven (Zuckmücken-Larven), deren Tracheensystem zurückgebildet ist und in deren Hämolymphe das rote Hämoglobin vorhanden ist. Die zwei Hauptgruppen der Blutzellen in der Hämolymphe unterscheiden sich sowohl morphologisch als auch funktionell: Abgerundete Zellen, die an der Gerinnung und somit an der Wundheilung beteiligt sind (Koagulozyten) und Zellen mit pseudo-

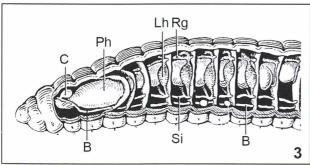




Abb. 3: Vorderkörper eines Regenwurms. B Bauchganglien, C Cerebralganglion, Lh Lateralherzen (pulsierende Ringgefäße), Ph Pharynx (Schlund), Rg Rückengefäß (Herz), Si Subintestinalgefäß (nach Kaestner, 1969). – Abb. 4: Regenwurm, quer. Region der Herzen (Strukturen mit rotem Inhalt; Pfeile). D Darm (modifizierte AZAN-Färbung). Vergr. 50fach.

podienartigen Fortsätzen, die sehr mobil und zur Phagozytose befähigt sind (Phagozyten).

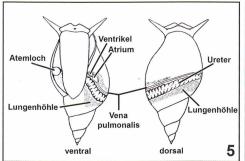
Regenwürmer

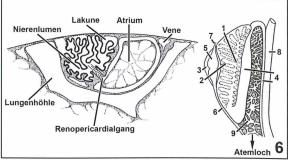
Die Regenwürmer gehören innerhalb der Annelida (Ringelwürmer) zur Ordnung Oligochaeta (Wenigborster). Bei ihnen ist der Kreislauf geschlossen, obwohl zwischen Darmepithel und dem Chloragogmantel des Darms ein nahrungsaufnehmendes Gefäß vorhanden ist. Das Chloragoggewebe dient dem Stoffwechsel und der Exkretion. Es speichert Fett und synthetisiert Glykogen. Als Motor des Blutkreislaufes dient das Rückengefäß (Dorsalarterie), über das von hinten nach vorne Kontraktionswellen verlaufen, die das mit Nährstoffen angereicherte Blut an den Mitteldarmarterien ansaugen und nach vorne befördern (Abb. 3 und 4). Vom Rückengefäß aus ziehen metamer angeordnete Gefäße (Kommissurgefäße) nach unten zum auf dem Ganglienstrang liegenden Bauchgefäß (Subintestinalgefäß). Mehrere dieser Kommissurgefäße sind muskulös, pulsieren rhythmisch und befördern das Blut weiter. Sie werden daher auch als Lateralherzen bezeichnet. Im Subintestinalgefäß fließt das Blut nach hinten und wird wieder dem Darm zugeleitet. Kommissurgefäße und vom Bauchgefäß abzweigende Arterien versorgen einzelne Organe und den Hautmuskelschlauch mit Blut.

Die Wand der großen Gefäße besteht aus einem Coelothel (Leibeshöhlenepithel), das sich zu Muskelzellen und einer das Lumen auskleidenden zellenlosen extrazellulären Matrix differenzieren kann. Das Blut enthält gelöstes rotes Hämoglobin und Amöbozyten.

Weinbergschnecke

Von den Mollusca sind Gastropoda (Schnecken) am einfachsten für Studien des Kreislaufsystems zu beschaffen. Sie haben einen offenen Blutkreislauf. Am weitesten geschlossen ist das





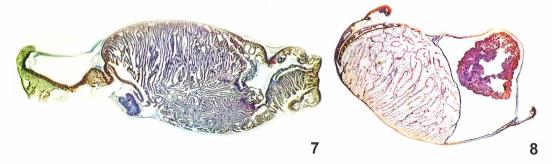


Abb. 5: Lunge (von Blutgefäßen umsponnene Wand der Mantelhöhle), Niere, Herzbeutel und Herzkammer einer Lungenschnecke (aus Götting, 1974). – Abb. 6: Links: Schnitt durch den Nieren-Perikard-Bereich (Renopericard-System) einer Lungenschnecke (nach Götting, 1974). Rechts: Schnitt durch den Nieren-Perikard-Lungenbereich-Bereich einer Weinbergschnecke. 1 Nierensack mit den blutführenden Septen, 2 Nierentrichter (Verbindung mit dem Perikardlumen), 3 Perikard, 4 Harnleiter (Ureter), 5 Herzkammer, 6 Lungenvene, 7 Aorta, 8 Enddarm, 9 Lunge (nach Kaestner, 1969). – Abb. 7: Weinbergschnecke. Niere (Sommerniere) und Herz, quer. Lupenvergrößerung. – Abb. 8: Weinbergschnecke. Niere (Winterniere) und Herz, quer. Lupenvergrößerung.

Zirkulationssystem bei den terrestrischen Lungenschnecken (Pulmonata). Das Herz, umschlossen vom Herzbeutel (Pericard), liegt etwa am Hinterende der Mantelhöhle oder - wenn diese fehlt wie bei den gehäuselosen Soleolifera (Landschnecken warmer Gebiete oder Bewohner der Gezeitenzone) - am vorderen Rand der Eingeweidemasse. Bei der Weinbergschnecke Helix pomatia liegt die Herz-Vorkammer vor der Hauptkammer (Ventrikel) (Abb. 5 und 6). Aus ihr entspringt ein Arterienstamm (Truncus arteriosus), der sich in der Nähe des Herzens in die Aorta anterior (Aorta cephalica) und in die Aorta posterior (Aorta visceralis) aufgabelt. Die Aorta anterior versorgt den Kopfbereich mit den Ganglien und Sinnesorganen, die vorderen Teile des Verdauungstraktes, die Endabschnitte des Genitalsystems, den Spindelmuskel (Columellamuskel, der den Weichkörper in das Gehäuse zurückzieht) und den Mantel. Aus dieser Aorta zweigen mehrere Arterien ab, die sich in verschiedene Sinuse öffnen. Die Aorta posterior zieht in den Eingeweidesack mit Magen, Mitteldarmdrüse und Gonaden (Abb. 7 und 8).

Der Herzbeutel ist von Coelothel ausgekleidet, das auch das Herz überzieht. Die Kammerwand wird von einem dreischichtigen Muskel gebildet. Die Vorkammern sind dünnwandig und bestehen aus Bindegewebe. Muskulös dagegen ist die Wand der Aorten.

Das Blut (die Hämolymphe) der Gastropoda enthält als respiratorischen Farbstoff Hämozyanin, das in oxidiertem Zustand blau ist. Nur die Planorbidae, zu denen die Posthornschnecke *Planorbarius corneus* gehört, haben rotes Hämoglobin. Als Zellen sind Amöbozyten in der Hämolymphe vorhanden. Sie können Pseudopodien bilden und sich zu Zellverbänden zusammenschließen.

Literaturhinweise

Andersson, F.: Unser Regenwurm. Mikrokosmos 25, 35–40 (1931).

Fiedler, K., Lieder, J.: Mikroskopische Anatomie der Wirbellosen. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1994

Götting, K.-J.: Malakozoologie. Grundriss der Weichtierkunde. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1974.

Hoc, S.: Die Blutzellen des Mehlkäfers. Mikrokosmos 65, 320–321 (1976).

Hoc, S.: Abwehrmechanismen bei Insekten. Mikrokosmos 70, 341–344 (1981).

Kaestner, A.: Lehrbuch der Speziellen Zoologie. Band I: Wirbellose, 1. Teil: Protozoa, Mesozoa, Parazoa, Coelenterata, Protostomia ohne Mandibulata, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1965.

bulata. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1965. Kaestner, A.: Lehrbuch der Speziellen Zoologie. Band I: Wirbellose, 3. Teil: Insecta. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1972.

Kühn, A.: Grundriss der allgemeinen Zoologie. 16. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1967.

Kükenthal, W.: Handbuch der Zoologie. 5. Band: Solenogastres, Mollusca, Echinodermata. Walter de Gruyter Verlag, Berlin 1925.

Peters, W., Walldorf, V.: Der Regenwurm *Lumbricus* terrestris L. – Eine Praktikumsanleitung. Quelle & Meyer, Heidelberg 1986.

Streble, H., Bäuerle, A.: Histologie der Tiere. Elsevier, München 2007.

Die Fotographien fertigte Josef Häckl, Bruckerstraße 16a, 82275 Emmering, an.

Verfasser: Dipl.-Biol. Siegfried Hoc, Donaustraße 1a, 82140 Olching, E-Mail: Siegfried-Hoc@t-online.de

Buchbesprechung

Bergmann, H.: Wasser, das Wunderelement? Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2011, 316 Seiten, € 24,90, ISBN 978-3-527-32959-5.



Jeder, der etwas über den derzeitigen Wissensstand zur Wahrheit und zum Hokuspokus unseres Lebenselixiers Wasser erfahren möchte, kann mit diesem fundierten Sachbuch von Helge Bergmann seinen Wissensdurst zufrieden stellend stillen. Über manch eine Richtigstellung wird man dann verblüfft sein, wenn es um die Beantwortung der Frage geht: Fakt oder Phantasie?

Eine empfehlenswerte Neuerscheinung aus dem Sachbuchsektor.

Klaus Hausmann, Berlin

Form und Funktion im Mikro- und Makrobereich

Warum brechen Kohlschnaken-Flügel nicht beim heftigen Anstoßen?

Werner Nachtigall und Alfred Wisser

Kohlschnaken (*Tipula oleracea*) bewegen ihre etwa 1,2 cm langen Flügel mit einer Frequenz von rund 50 Schlägen pro Sekunde. Dabei erreichen die Flügelspitzen Geschwindigkeiten von nicht weniger als etwa 5 m s⁻¹. Beim Eiablage-Flug in hohem Gras stoßen die Flügel regelmäßig an Halmen an. Wären sie starr, würden sie bei dieser hohen Geschwindigkeit irreversibel brechen. Wie vermeiden die Schnaken das?

Die Abbildung 1 zeigt, was mit der Spitzenregion eines Flügels geschieht, wenn er anstößt. Hier stößt er nicht an einen Grashalm an; die Schnake flog vielmehr frei in einem kleinen Glaskäfig und rutschte mit der Flügelspitze an einer Scheibe entlang. Wie ersichtlich, wird die Spitzenregion sowohl beim Abschlag und erst recht beim Aufschlag bis um 90° abgebogen. Die Energie wird also in Biegeelementen aufgefangen und führt deshalb nicht zum Flügelbruch. Ein solches Biegeelement im Flügel einer *Tipula* zeigen die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen in Abbildung 2.

Um die Abbiegungsgrößen näher zu messen und auch Sicherheitsfaktoren für die Konstruktion "Flügel" zu ermitteln, wurde ein *Tipula*-Flügel vor der Düse eines laminar ausblasenden kleinen Windkanals justiert. Austrocknungseffekte wurden dadurch vermieden, dass der Flügel zwar an der Basis an ein Gestänge angewachst worden war, der Körper aber lebend erhalten blieb. Dieser Flügel wurde nun bei zunehmenden Anstellwinkeln mit zunehmend höheren Windgeschwindigkeiten angeblasen. Die Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse.

Demnach knickt die Flügelspitzen-Region bei v = 5 m s⁻¹ auch bei dem höchsten eingestellten Anstellwinkel von 45° (bei dem die Luftkraft relativ am größten ist) nicht ab. Bei v = 9 m s⁻¹ knickt der Flügel im Bereich 5°< a < 15° in der

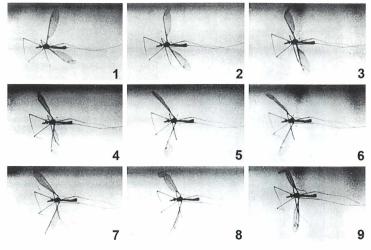


Abb. 1: Anstoßen und Abbiegen der Flügelspitzen-Region von *Tipula oleracea*. Nach einer Hochfrequenzaufnahme mit circa 750 Bildern pro Sekunde.

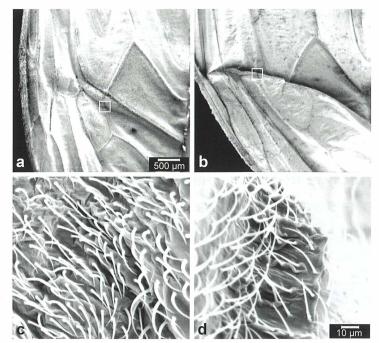


Abb. 2: Distaler Flügelbereich eines Flügels von *Tipula* spec., rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen. a Spitzenbereich nicht abgebogen. b Spitzenbereich abgebogen und gefaltet. c Detail eines wie ein Staubsaugerschlauch geformten Flügelader-Ausschnitts. d Wie c, doch mit auseinander gezogener Staubsaugerschlauch-Struktur.

Spitzenregion im Bereich einer präformierten Biegestelle reversibel ab. Bei 30°< a < 45° erfolgt diese reversible Abbiegung bereits bei v = 7 m s⁻¹. Bei der ungünstigsten Kombination von a = 45° und v = 9 m s⁻¹ schließlich knickt der Flügel bereits im ersten Drittel irreversibel ab und wird dabei zerstört. Definiert man geschwindigkeitsbezogene Sicherheitsfaktoren mit:

$$S_{Abbiegung} = v_{reversible Abbiegung}/v_{maximal Flug}$$
 und
 $S_{Zerstörung} = v_{Zerstörung}/v_{maximal Flug}$

so ergeben sich in den ungünstigsten Fällen Werte von 1,4 und 1,8.

Im Bereich hoher bis höchster Anstellwinkel erfolgt irreversible Abbiegung, von der sich ein Flügel nicht mehr erholt (mit dem Effekt, dass das flugunfähige Insekt vom nächsten Vogel aufgepickt wird) also bereits beim Überschreiten der physiologischen Maximalanströmung um die geringen Geschwindigkeits-Faktoren von 1,8. Im Bereich kleiner Anstellwinkel sind die Faktoren 1,8 bis "praktisch unendlich". Dabei ist zu bedenken, dass die biegemomentinduzierenden Luftkräfte nicht linear, sondern quadratisch mit der Anströmgeschwindigkeit zunehmen. Daraus folgt: Der Mechanismus der reversiblen Abbiegung spricht relativ früh an, während irreversible Abnickung wohl sehr selten vorkommt.

Der Flügel stellt einen extremen Leichtbau dar. Für seine Konstruktion nimmt die Evolution offenbar sehr geringe Sicherheitsfaktoren in Kauf, um den Flügel, anthropomorph gesprochen, "möglichst leicht bauen zu können". Im Vergleich: Für Aufzugsseile verlangt der VDI einen Sicherheitsfaktor von mindestens 20! Kommt es wirklich einmal zur Abknickung des Flügels, wird das entsprechende Individuum geopfert. Das ist energetisch effektiver, als alle Flügel so schwer zu bauen, dass es niemals zu einer Abknickung kommt.

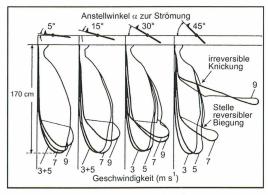


Abb. 3: Abbiegung eines unterschiedlich stark angestellten und unterschiedlich rasch angeströmten *Tipula-*Flügels durch den Winddruck.

Literaturhinweis

Nachtigall, W. (unter Mitarbeit von A. Wisser): Insektenflug. Konstruktionsmorphologie – Biomechanik – Flugverhalten. Springer, Berlin 2003.

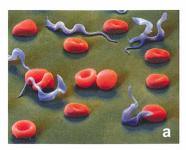
Verfasser: Prof. em. Dr. rer. nat. Werner Nachtigall und Dr. rer. nat. Alfred Wisser, Außenstelle Technische Biologie und Bionik der Akademie der Wissenschaften Mainz und FB 8, Biowissenschaften, der Universität des Saarlands.

Postanschrift: Postfach 151150, 66041 Saarbrücken,

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

Kurze Mitteilung

Analyse der Schwimmbewegung von Trypanosomen





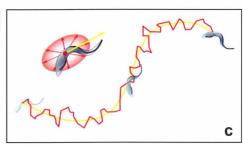


Abb. 1: Trypanosomen bewegen sich im Blut zwischen den Erythrocyten (a) mit Hilfe eines Flagellums, das am Zell-körper angeheftet ist (b). Die Schlagbewegung der Geißel bewirkt eine unregelmäßige Zick-zack-Bewegung (c); doch schwimmt die Zelle letztendlich im Mittel geradeaus (a Oliver Meckes und Nicole Ottawa (eye of science), Reutlingen; b nach Martin und Desser; c Vasily Zaburdaev, Technische Universität Berlin).

Trypanosomen sind einzellige, begeißelte Parasiten, die im Menschen beispielsweise die gefährliche Schlafkrankheit hervorrufen. Die Parasiten werden durch blutsaugende Tsetse-Fliegen übertragen und vermehren sich in der Blutflüssigkeit des Menschen. Diese Blutform besitzt ein Flagellum, welches am Zellhinterende entspringt und am Zellkörper angeheftet nach vorne verläuft. Beim Schlag des Flagellums wird dadurch die ganze Zelle wellenförmig verformt. Solche am Körper angehefteten Geißeln findet man speziell bei Flagellaten, die sich in zähen Medien – Blut ist deutlich zäher als Wasser – schwimmend fortbewegen.

Ein Forscherteam von Physikern und Chemikern aus mehreren Ländern hat nun die Bewegung von *Trypanosoma brucei brucei* mit statistischen Methoden analysiert. Die Trypanosomen wurden dazu in ein Medium der Zähigkeit 1 Centipoise (1 cp) gegeben und zwischen zwei dünnen Glasplatten im Abstand von 10 µm mikroskopisch beobachtet. Die Schwimmbahnen von über 40 Zellen wurden gefilmt und ausgewertet. Neben einer Vorwärtsbewegung wurden kleine, unregelmäßige Zick-zack-Bewegungen registriert, die nicht auf

einer ungeordneten Braun'schen Molekularbewegung beruhten. Die Geißel führte schnelle Hin- und Herbewegungen aus, die nur eine Zwanzigstel Sekunde dauerten. Sie waren der Grund für die Zick-zack-Form des Schwimmweges. Trotz dieser unregelmäßigen Bewegungen schwimmt die Zelle im Mittel geradeaus. Komplexe statistische Methoden waren notwendig, um aus dem "verrauschten" Datenmaterial der schlingernden Flagellaten korrekte Ergebnisse zu erzielen. Die verwendeten Analysen helfen, lebende Systeme und speziell sich bewegende Objekte besser zu verstehen. Dies wird in Zukunft auch nützlich sein, um beispielsweise künstliche, mikroskopisch kleine Schwimmgeräte zu entwickeln.

Literaturhinweis

Zaburdaev, V., Uppaluri, S., Pfohl, T., Engstler, M., Friedrich, R., Stark, H.: Langevin dynamics deciphers the motility pattern of swimming parasites. Phys. Rev. Lett. 106, 208103 (4 Seiten) (2011).

Renate Radek, Berlin

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

Teil 4: Die "aerodynamische Visitenkarte". Mit einer Einführung in die Strömungstechnik

Werner Nachtigall

Eine Visitenkarte kennzeichnet kurz und bündig ihren Besitzer: Namen, Anschrift, Telefon, E-Mail-Adresse. Es gibt einen strömungsmechanischen Graphen, der ebenso kurz und bündig die aerodynamischen Eigentümlichkeiten eines Tragflügels oder eines Flugzeugs kennzeichnet. Das ist die Lilienthal'sche Polare. Was sagt sie uns über Alsomitra macrocarpa?

ie sehr treffende Bezeichnung der Polare als "aerodynamische Visitenkarte" stammt von dem Strömungsmechaniker Fritz Dubs, der damit auf ein Kapitel seines Fachbuchs über Unterschallströmungen neugierig machen wollte. Wir werden das nachvollziehen können. Alles, was die Evolution der Alsomitra-Diaspore an gleittechnischen Eigenschaften mitgegeben hat und was Gegenstand der vorhergehenden Abhandlungen war, steckt komprimiert in dieser Polare. Selten hat man in der Biologie ein technisches Verfahren, das biologisches So-Sein derartig kurz und bündig erklärt.

Wenn man eine Polare messen will, braucht man dazu in der Regel einen Windkanal und eine aerodynamische Zwei-Komponenten-Waage.

Methoden

Die beiden Geräte – der Windkanal und die Zwei-Komponenten-Waage – wurden speziell für solche biophysikalischen Messungen konstruiert und selbst gefertigt.

Der horizontal blasende Windkanal besteht aus mehreren, hintereinander geschalteten kastenförmigen Teilen aus 8-mm-Sperrholz (Abb. 1a). Teil 1 enthält ein Gebläse, Teil 2 einen Wabengleichrichter zur Reduzierung des Gebläsedralls sowie ein Sieb aus Glasvlies zur Turbulenzreduzierung und Strömungserweiterung, Teil 3 noch

ein solches Vlies, Teil 4 wirkt als einbaulose Beruhigungsstrecke und Teil 5 trägt eine speziell berechnete Düse zur Homogenisierung, Turbulenzreduktion und Geschwindigkeitserhöhung der Strömung. Der Düsenquerschnitt beträgt 24 × 12 cm und ist damit einer *Alsomitra*-Diaspore geometrisch angepasst. In der dahinterliegenden Messstrecke ist die Strömung turbulenzarm und geschwindigkeitskonstant. Fest eingeeicht wurde eine Geschwindigkeit v von 1,41 m s⁻¹, die der Gleitgeschwindigkeit der Diaspore nahe kommt.

Die Zwei-Komponenten-Waage (Abb. 1b) besteht aus einer Sauter-Apothekenwaage zur Messung des Auftriebs F_A (Abb. 2a), deren linker Waagenteller durch Teile einer kleineren Sartorius-Apothekenwaage zur Messung des Widerstands F_w ersetzt wurde. An dieser hängt an einem längeren, leichten Trägerrohr eine Einrichtung zur Verstellung des Anstellwinkels α, bestehend aus einem stark untersetzten, richtungsumschaltbarem und fernsteuerbarem Minimotor, dessen Ritzel eine Winkelmesserscheibe langsam verdreht. Deren Achse trägt über ein gegen die Strömung abgeschirmtes Gestänge das zu vermessende Objekt (Abb. 1c). Durch Gewichtauflegen werden die Kräfte kompensiert, wobei zur Fw-Messung die Auftriebswaage am Zeiger arretiert wird. Die Messungen wurden im Bereich $-10^{\circ} < \alpha < +90^{\circ}$ durchgeführt. Die Messgenauigkeit beträgt 0,05 bis 0,1 mN.

O.Ö. LANDESMUSEUM

BIBLIOTHEK







Abb. 1: Geräte.
a Windkanal und vorgeschaltetes
Waagensystem. b Aerodynamische Zwei-Komponenten-Waage
zur sukzessiven Auftriebs- und
Widerstandsmessung. c Aufhängung des Messobjekts vor der
Windkanaldüse mit ferngesteuerter Anstellwinkelverstellung
(1° in 5 s).

Begriffe zum Verständnis des Gleitflugs und Einführung in strömungstechnisches Messen

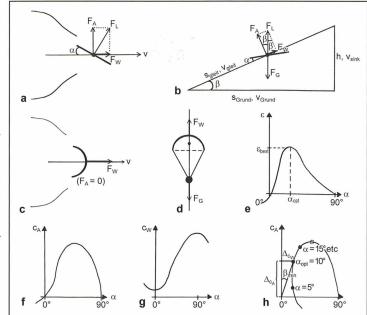
Die grundlegenden strömungsmechanischen Begriffe wurden zwar in den vorhergehenden Mitteilungen (Nachtigall, 2011a, b, c) bereits eingeführt, seien hier aber nochmals in Form einer kurzen Übersicht zusammengestellt und an Hand einiger Gedankenexperimente gekennzeichnet (Abb. 2). Gleichzeitig ist das eine kleine, in sich geschlossene, strömungsmechanische Einführung, die man mit Gewinn verwenden kann, wenn Fragen der Fortbewegung

von Pflanzen und Tieren in Luft und Wasser interessieren.

Kräfte an der flachen Platte

Stellt man eine an der Zwei-Komponenten-Waage befestigte flache Platte unter einem positiven Anstellwinkel α schräg in den Luftstrom eines mit der Geschwindigkeit ν blasenden Windkanals (Abb. 2a), so wird die Luft schräg nach unten abgelenkt, so dass sie gleichzeitig drückt (Widerstandskraft $F_{\rm W}$) und hebt (Auf-

Abb. 2: Strömungstechnische Kenngrößen und Kennlinien. a flache Kreisscheibe unter positivem Anstellwinkel vor dem Windkanal. **b** Gleitdreieck und seine Kenngrößen und mit konstanter Gleitgeschwindigkeit gleitendes System. c Halbkugelschale, gegen die konkave Seite angeblasen, vor dem Windkanal. d Mit konstanter Sinkgeschwindigkeit absinkender Fallschirm. e Prinzipverlauf einer Gleitzahl-Anstellwinkel-Kennlinie für die flache Platte. f Prinzipverlauf einer Auftriebsbeiwert-Anstellwinkel-Kennlinie für die flache Platte. g Prinzipverlauf einer Widerstandsbeiwert-Anstellwinkel-Kennlinie für die flache Platte. h Prinzipverlauf einer Auftriebsbeiwert-Widerstandsbeiwert-Kennlinie (Polare) für die flache Platte mit eingezeichnetem bestem Gleitdreieck. Zu Details siehe Text.



triebskraft F_A). Die Luftkraftresultierende F_L wird also schräg nach hinten-oben weisen.

Übergang zum Gleitflug

Nun denke man sich die Richtung von v schräg nach oben verkippt, den Windkanal ausgeschaltet und das Objekt losgelassen. Ist es gut austariert, wird es nun auf einer schräg nach unten gerichteten Gleitbahn abwärts gleiten. Die Abbildung 2b zeigt die Prinzipkonfiguration dieses freien Gleitflugs. Eine Strecke in der Richtung von v bildet die Hypotenuse eines Weg-Dreiecks. Diese Hypotenuse heißt Gleitstrecke s_{gleit}. Die beiden Katheten heißen Gleithöhe h und Gleitweite über Grund s_{Grund}. Die Größen sgleit und sGrund schließen zwischen sich den Gleitwinkel ß ein. Man kann das Dreieck auch als Geschwindigkeits-Dreieck auffassen. Dann heißt die Hypotenuse Gleitgeschwindigkeit v_{gleit}, und die beiden Katheten heißen Sinkgeschwindigkeit vsink und Geschwindigkeit über Grund v_{Grund}.

Die flache Platte steht in jedem Fall unter dem Anstellwinkel α schräg zur Gleitbahn beziehungsweise Gleitgeschwindigkeit. F_W weist in deren Richtung, während F_A nach wie vor senkrecht dazu steht. Ein guter Gleiter und damit auch unsere *Alsomitra*-Diaspore tariert sich

nun automatisch so aus (stellt ihren Anstellwinkel α so ein), dass die Resultierende F_L senkrecht steht und entgegengesetzt gleich ist der Gewichtskraft F_G des gleitenden Systems. Damit findet sich aus geometrischen Gründen β auch zwischen F_L und ihren Komponenten wieder (vgl. Abb. 2b). Sobald dies der Fall ist, gleitet das System mit konstanter v_{gleit} auf seiner Gleitbahn bis es nach dem Absinken um die Strecke h den Boden berührt.

Gleitkenngrößen

Je flacher nun die Gleitbahn geneigt, je kleiner also ß ist, desto weiter kommt das System aus gegebener Höhe über Grund, desto besser ist also sein Gleitverhalten.

Wiederum aus geometrischen Gründen ergibt sich damit die folgende Beziehung:

 $\epsilon = \cot \alpha \beta = s_{Grund}/h = v_{Grund}/v_{sink} = F_A/F_W = c_A/c_W; \beta = arc \cot \alpha \epsilon.$

Die Begriffe c_A und c_W werden etwas weiter unten wieder aufgegriffen. Den Ausdruck ϵ bezeichnet man als Gleitzahl. Ein gutes Gleitsystem ist durch einen großen Gleitzahl-Wert ϵ und damit durch einen kleinen Gleitwinkel-Wert β gekennzeichnet. F_A ist dann groß im Verhältnis zu F_W . Vom Tragflügel eines guten Flugzeugs erwartet man ja genau dieses: Er soll

einen möglichst großen Auftrieb und einen möglichst geringen Widerstand erzeugen, damit eine große Gleitzahl erreichen, so dass das Flugzeug letztlich unter einem geringen Gleitwinkel zu Boden gleiten kann. Aus gegebener Höhe soll es dabei möglichst weit über Grund kommen. Das ist wichtig für ein Segelflugzeug, aber auch für ein Motorflugzeug, wenn einmal die Triebwerke ausfallen und die nächste Landebahn noch erreicht werden soll. (Der Vollständigkeit halber: Manche Lehrbücher bezeichnen ε-1 als Gleitzahl; wir bleiben aber bei der hier genannten Definition.)

Widerstandsformen

Nicht immer ist man aber an einem großen F_A interessiert, sondern im Gegenteil an einem großen F_W . Widerstand in Reinkultur zeigt beispielsweise eine gegen die Hohlseite angeströmte Halbkugelschale (Abb. 2c). Das nutzt man beim Fallschirm aus. Sobald seine vertikal nach oben weisende Widerstandskraft F_W entgegengesetzt gleich ist der vertikal nach unten weisenden Gewichtskraft F_G (Abb. 2d), sinkt der Fallschirm mit seiner Last mit konstanter Sinkgeschwindigkeit zu Boden.

Unter allen bekannten Formen weist die Fallschirmform – bei gegebener Größe und Anströmgeschwindigkeit sowie bei gegebenem Medium (Luft oder Wasser) - den größten Widerstand auf. Das macht die Sache kompliziert, denn für einen kleinen Fallschirm ist der Widerstand anders als für einen großen, für einen langsam sinkenden anders als für einen schnell sinkenden, und in Luft wäre er auch anders als in Wasser. Und dabei hat der Fallschirm doch immer die gleiche Halbkugelform. Wir suchen also eine Kenngröße, welche die "widerstandserzeugenden Eigenschaften" der Fallschirmform an sich beschreibt, unabhängig von den genannten Variablen. Das ist der Widerstandsbeiwert cw.

Widerstands- und Auftriebsbeiwert

Dieser Beiwert ist der Proportionalitätsfaktor in der schon Isaak Newton (1643–1727) bekannten Widerstandsgleichung und berechnet sich zu $c_W = F_W/(A \cdot {}^1\!/_2 \, \rho \cdot v^2)$. Hierbei ist A eine Bezugsfläche, ρ die Dichte des Mediums (Luftdichte: 1,25 kg m⁻³ bei 20 °C). Dieser c_W -Wert ist nun erwünschterweise unabhängig von den

obengenannten Variablen, nämlich der Größe (A), der Geschwindigkeit (v) und dem Medium (ρ). Nimmt man ein doppelt so großes Gebilde (im Nenner: 2A), so verdoppelt sich auch sein Widerstand (im Zähler $2F_{\rm W}$), und der Faktor 2 kürzt sich wieder heraus. Entsprechendes gilt für v und ρ beim Vergleich zweier Objekte. Das $c_{\rm W}$ kennzeichnet also wirklich die widerstandserzeugenden Eigenschaften einer Form alleine. In ganz gleicher Weise kennzeichnet der Auftriebsbeiwert $c_{\rm A} = F_{\rm A}/({\rm A} \cdot {}^{1}/_{2} \ \rho \cdot {\rm v}^{2})$ ihre auftriebserzeugenden Eigenschaften. Kein Wunder, dass Ingenieure prinzipiell mit den Beiwerten rechnen.

Wir tun das auch, wenn wir nun abschließend die Änderungen von c_A und c_W einer flachen Kreisscheibe (Bierdeckel) mit dem Anstellwinkel α betrachten, wieder zuerst im Gedankenexperiment. Der Verlauf ist eigentlich sonnenklar.

Änderung der Beiwerte mit dem Anstellwinkel

Beim Anstellwinkel $\alpha = 0$ wird eine flache Scheibe die Strömung weder nach unten noch nach oben ablenken, also weder Auftrieb noch Abtrieb erzeugen ($c_A = 0$), wohl aber den geringstmöglichen Widerstand ($c_W = c_{W \text{ min}}$; irgendein Widerstand wird immer erzeugt; man kriegt ihn nicht los, ganz im Gegensatz zum Auftrieb). Mit negativem α wird Abtrieb erzeugt, mit positivem Auftrieb (Abb. 2a). Bei größerem Anstellwinkel α steigt der Auftrieb zunächst. Mit noch weiter steigendem α reißt die Strömung aber immer mehr ab, und der Auftrieb sinkt wieder, bis er bei $\alpha = 90^{\circ}$ wiederum Null wird. Bei $\alpha = 90^{\circ}$ ist dafür der Widerstand maximal ($c_W = c_{W \text{ max}}$).

Aufgelöste Polaren und Lilienthal-Polare

Dieses Verhalten ist in den beiden Prinzipkurven der Abbildung 2f und 2g aufskizziert. Die Kurve $c_A(a)$ heißt aufgelöste Auftriebspolare; der Beiwert c_A verläuft im Bereich $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ von 0 zu 0 mit einem Maximum zwischendurch. Die Kurve $c_w(\alpha)$ heißt aufgelöste Widerstandspolare; der Beiwert c_w verläuft im Bereich $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ von einem Minimum zu einem Maximum mit einem Wendepunkt zwischendurch.

Die clevere Idee Otto Lilienthals (1848–1896) war es nun, aus den beiden Kurven eine einzige

zu machen. Für jedes α las er aus den beiden aufgelösten Polaren die zugehörigen c_A - und c_W -Werte ab, trug sie in einem c_A - c_W -Koordinatensystem als Punkt auf und schrieb den Wert des Anstellwinkels α daneben (Abb. 2h). Damit ergab sich die – heute nach ihm benannte – Polare oder Gesamtpolare oder eben Lilienthal-Polare.

Gleitzahlbestimmung über die Beiwerte (Windkanalmessungen)

Man kann auch den Quotienten der beiden Kenngrößen bilden und erhält dann die oben bereits definierte Gleitzahl $\varepsilon = c_A/c_W$. Uber den Anstellwinkel aufgetragen ergibt sich als weitere Kennlinie die $\varepsilon(\alpha)$ -Kurve (Abb. 2e). Sie wird ein Maximum bei eher kleineren Anstellwinkeln haben, weil dort c_A bereits recht groß, c_w aber noch relativ klein ist. Das Maximum kennzeichnet die beste Gleitzahl ε_{best}; der zugeordnete Anstellwinkel ist der optimale, α_{opt} , und der zugeordnete Gleitwinkel ist der minimal mögliche, β_{min} (Abb. 2e). Ebendiese Werte ergeben sich aber auch aus der Lilienthal-Polare (vorausgesetzt, man trägt c_A und c_W so auf, dass sie einen gemeinsamen Ursprung und gleiche Maßstäbe haben). Legt man nämlich eine Tangente aus dem Ursprung an die Polare, so berührt sie diese bei α_{opt} , und man kann den Gleitwinkel ß direkt ablesen (Abb. 2h). Über die zugeordneten Werte für Δc_A und Δc_W lässt sich dann die Gleitzahl $\varepsilon = \Delta c_A / \Delta c_W$ berechnen.

Beiwertbestimmung über die Gleitzahlen (Gleitflugmessungen)

Man kann auch den umgekehrten Weg gehen, nämlich aus Versuchen mit frei gleitenden Objekten die Gleitzahlen bestimmen und daraus die zugehörigen c_{A^-} und c_{W^-} Werte für unterschiedlich eingestellte Anstellwinkel berechnen und somit ebenfalls eine Polare aufstellen. Normalerweise stellt ein gleitendes System seinen optimalen Anstellwinkel selbsttätig ein. Den Anstellwinkel beim freien Gleiten kann man aber durch unterschiedliche Trimmung auch verändern, das heißt zwangseinstellen. Die Formeln lauten: $c_A = F_G \cos\beta/(A^{-1}/_2\rho\ v^2)$ und $c_W = F_G \sin\beta/(A^{-1}/_2\rho\ v^2)$. Werte aus solchen Gleitversuchen sind in Abbildung 3b zugezeichnet.

Zurück zu den Windkanalmessungen. Man sieht, dass in der Polare $c_A(c_W)$ in der Tat alle

kennzeichnenden Werte enthalten sind, etwas anderes braucht man im Grunde nicht, und deshalb kann man mit Recht von einer aerodynamischen Visitenkarte sprechen. Wir wollen das nun gleich an der *Alsomitra*-Polare nachvollziehen.

Die Reynoldszahl

Vorher sei aber, zum Abschluss dieses kleinen zusammenfassenden Exkurses in die Strömungsmechanik, noch einmal auf die in früheren Mitteilungen auch schon benannte Reynoldszahl Re eingegangen. Wir brauchen sie am Ende dieses Artikels, wenn wir nämlich die Alsomitra-Polare mit der eines großen Flugzeugflügels und der eines winzigen Essigfliegenflügels vergleichen.

Die c_A- und c_w-Werte kennzeichnen zwar in der Tat die auftriebs- und widerstandserzeugenden Eigenschaften einer geometrischen Form, doch sind diese Eigenschaften bedauerlicherweise nicht konstant, weil sich die Umströmungs-Charakteristik ändert, wenn man einen Körper unterschiedlich schnell anströmt oder unterschiedlich große Körper gleich schnell anströmt. Wenn sich die Umströmung eines Körpers ändert, ändern sich damit auch seine charakteristischen Eigenschaften. Somit sind sie von den obengenannten Variablen abhängig, genau gesagt von der Länge l, der Anströmgeschwindigkeit v und der so genannten kinematischen Zähigkeit v des Mediums. Die nach dem englischen Hydrodynamiker Osborne Reynolds benannte, von ihm im Jahr 1883 aufgestellte Kennzahl berechnet sich zu Re = $v \cdot l \cdot v^{-1}$. Für Luft kann man bei 20 °C mit einem konstanten Wert $v = 1.51 \cdot 10^{-5}$ (m² s⁻¹) rechnen. Es bleibt noch die Abhängigkeit von l und v. Ihr Produkt muss konstant sein, wenn die Beiwerte von mehreren unterschiedlichen Formen verglichen werden sollen. Wenn man andererseits ein und dieselbe Form bei unterschiedlichen Re-Zahlen vergleicht - oder erst recht unterschiedliche Formen bei unterschiedlichen Re-Zahlen –, werden sich unterschiedliche Beiwerte ergeben. So erreicht beispielsweise die Kugel bei Re = $5 \cdot 10^5$ den Beiwert $c_{W \text{ Kugel}}$ = 0,1, bei Re = $5 \cdot 10^3$ dagegen den viel größeren Beiwert c_{W Kugel} = 0,45. Im Allgemeinen steigen die cw-Werte mit fallender Reynoldszahl und die c_A-Werte fallen. Wir haben das bereits in einer früheren Arbeit am Beispiel eines Lachmöwen-Modells dokumentiert (Nachtigall, 2011b) und sollten uns für den nachfolgenden Polarenvergleich daran erinnern.

Ergebnisse

Messungen

In der Abbildung 3 sind alle Kennlinien für Alsomitra macrocarpa zusammengezeichnet. Weitere Daten, welche die Diaspore charakterisieren, sowie die kinematischen Daten stehen in den beiden Einschaltkästen. Die im Grunde einzig wichtige Kennlinie ist, wie gesagt, die Polare von Teilabbildung 3b. Dies ist meines Wissens die erste auf Windkanalmethoden basierende Polarendarstellung für Alsomitra. Die Aufgelösten Polaren (Abb. 3a) braucht man im Wesentlichen zur Konstruktion von Abbildung 3b. Die Bestwerte aus der Gleitzahl-Anstellwinkel-Kurve (Abb. 3c) sind, wie erwähnt in Abbildung 3b bereits enthalten. Für einen anschaulichen Überblick ist es aber günstig, wenn man alle Kennlinien vergleichen kann. Die komprimierte Darstellung in Abbildung 3b alleine kann leicht etwas abstrakt wirken.

Bei einer einzigen, aber typischen Diaspore (typisch sind auch die leichten Randverletzungen und die Austrocknungseffekte) wurden zuerst die geometrischen- und Massenkenngrößen be-

stimmt, dann wurden Gleitversuche gemacht, und schließlich wurde sie am Windkanal vermessen.

Die Geometrie- und Massenkenngrößen wie Spannweite b, mediane Flügeltiefe $t_{\rm med}$, Fläche A, Streckung Λ , Gewicht F_G , Flächenbelastung FB, Geschwindigkeit v und Reynoldszahl Re stehen in den genannten Einschaltkästen von Abbildung 3a-c.

Die Gleitversuche haben mit n = 20 auswertbaren Ansätzen den folgenden Mittelwert erbracht: $\varepsilon_{\text{freies Gleiten}}$ = 2,85 ± 0,25 (± 8,7%). Aus 1 m Höhe kam die Diaspore also im Mittel 2,85 m über Grund. Dabei betrug der Gleitwinkel arc cotan ε = 19,3°, der abgeschätzte Anstellwinkel zur Gleitbahn rund 10°. Aus früheren Gleitversuchen ist bekannt, dass die mittlere Gleitgeschwindigkeit knapp 1 m s⁻¹ beträgt.

Die Windkanal-Versuche, durchgeführt mit einer eingeeichten und fest eingestellten, der realen Gleitgeschwindigkeit nahe kommenden Anblasgeschwindigkeit von 1,41 m s⁻¹, ergaben die folgenden kennzeichnenden Werte, die gleich auch kurz diskutiert werden. Die Werte für $c_A(c_W)$ und für $\epsilon(\alpha)$ wurden nach den Ausgleichsgraphen durch die Messpunkte von $c_A(\alpha)$ und $c_W(\alpha)$ gezeichnet. Zu bedenken ist, dass Alsomitra realiter in einem engen Anstellwinkelbereich um $\alpha_{\rm opt} \approx 10^{\circ}$ gleitet. Alle anderen Bereiche sind im Wesentlichen theoretisch und im technischen Vergleich interessant.

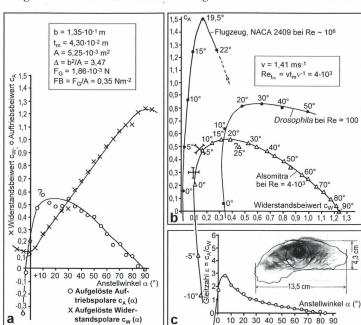


Abb. 3: Aerodynamische Kennlinien für die Alsomitra-Diaspore. Vergleiche Abbildung 2 und den Text. Das große X-Symbol kennzeichnet den beim Gleitflug der unveränderten Diaspore eingestellten Wertebereich nach eigenen Messungen, das große +-Symbol nach Messungen von Azuma und Okuno (1987).

Maximaler Auftriebsbeiwert $c_{A max}$: 0,57 bei α = 10°. Relativ flaches Maximum um 0,53 bei 10° < α < 30°. Im Gegensatz zum Flugzeugtragflügel erfolgt also kein schlagartiges Strömungsabreißen und damit Durchsacken des Flugkörpers bei hohen Anstellwinkeln.

Nullauftrieb ($c_A = 0$) bei $\alpha = -2^{\circ}$ und bei a = +88°. Die gleichwohl stellenweise leicht gewölbte und verspannte Diaspore verhält sich im Mittel fast so wie eine flache Platte.

Angenähert linearer Auftriebsabfall $c_A(\alpha)$ im Bereich 35° < α < 90°. Die Strömungs-Abrisslinie muss in etwa gleichförmig nach vorne wandern.

Minimaler Widerstandsbeiwert c_{Wmin} : 0,12 bei α = 0°. Hält sich im erwarteten Bereich; die Widerstandserzeugung ist vergleichsweise gering.

Angenähert linearer Widerstandsanstieg $c_{\rm W}(\alpha)$ im Bereich 10° < α < 75°. Die Diaspore zeigt keine merklichen Formänderungen bei sehr hohen Anstellwinkeln.

Maximaler Widerstandsbeiwert $c_{W max}$: 1,24 bei $\alpha = 90^\circ$. Bei hohen Re-Zahlen wird für Kreisscheiben ein $c_{W max}$ von 1,11 angegeben, das bei den Re-Zahlen des Alsomitra-Gleitens (um 10³) ansteigen muss, was nach eigenen Messungen tatsächlich der Fall ist (bis ca. 1,5 bei einer Kreisscheibe der Größe, wie sie in Abbildung 4a eingezeichnet ist). Die Diaspore verhält sich also ähnlich wie ein geometrisch eindeutig beschreibbarer, dünner, ebener Körper. Sie zeigt keine auffallenden Besonderheiten.

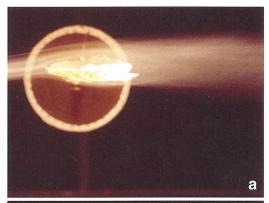
Relativ breites Maximum der Polare mit anschließendem langsamen Abfall im Bereich 10° < α < 30° . Die Diaspore gleitet relativ "überziehungsfest"; keine Gefahr des Strömungsabrisses und Abtrudelns bei kurzfristig höheren Anstellwinkeln, etwa durch Böen.

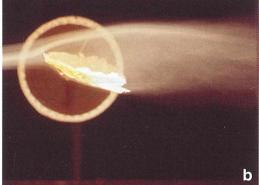
Beste Gleitzahl ε_{best} : 2,86, damit optimaler Gleitwinkel $\Re_{\text{opt}} = 19,3^{\circ}$ bei $\alpha_{\text{opt}} \approx 5^{\circ}$ (5° bis 10°). Überzeugend ist die Übereinstimmung mit den Werten für freies Gleiten derselben Diaspore. Bei meinen Gleitversuchen mit anderen, unveränderten Diasporen haben sich diese im Mittel unter einem Anstellwinkel von $\alpha = 12,5^{\circ}$ \pm 1,4° (\pm 11%) eingestellt und dabei c_A = 0,48 und $c_w = 0.14$ erreicht (großes × in Abb. 3b). Azuzma und Okuno (1987) haben bei unveränderten Diasporen (großes + in Abb. 3b) und auch bei unterschiedlich getrimmten Diasporen Werte bekommen, die der Polare nahe kommen. Technisch gelten Gleitzahlen um 4 als einigermaßen schlecht; trotzdem ist Alsomitra damit der beste pflanzliche Gleitflieger der

Welt. Dass dies (auch) ein Reynoldszahl-Effekt ist, und warum Tiere deutlich besser sind, wurde in Nachtigall (2011b) diskutiert.

Rauchkanal-Aufnahmen

Bei der Reynoldszahl des freien Gleitens wurde die Umströmung der untersuchten Alsomitra-





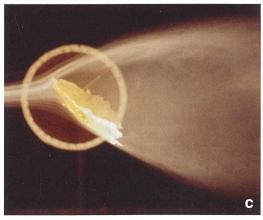
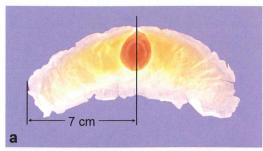


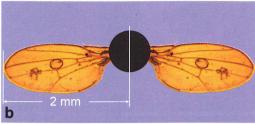
Abb. 4a–c: Rauch-Umströmung der Diaspore nach Abbildung 1b. **a** $\alpha = +5^{\circ}$, **b** $\alpha = +20^{\circ}$, **c** $\alpha = +45^{\circ}$.

Diaspore bei unterschiedlichen Anstellwinkeln α durch Rauch sichtbar gemacht. Beispiele zeigt die Abbildung 4. Man kann sie mit den entsprechenden Stellen der Polaren-Kurve vergleichen. Bei $\alpha=5^\circ$ ist eine "gesunde Umströmung" erkennbar; hier liegt in etwa auch die optimale Gleitzahl. Bei $\alpha=25^\circ$ herrscht bereits weitgehender Strömungsabriss; das Polaren-Maximum ist überschritten. Bei $\alpha=45^\circ$ ist die Strömung unter überwiegender Widerstandserzeugung vollständig abgerissen (absteigender Polaren-Ast).

Vergleiche

Bei der Abbildung 3b ist in das Koordinatensystem mit der Polare von Alsomitra-(Spannweite





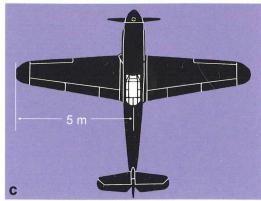


Abb. 5: Die hier betrachteten Objekte, in gleichem Maßstab abgebildet.

13,5 cm, Flügeltiefe 4,3 cm, Re-Zahl 4 · 10³, Einschaltbild in Abb. 3c, sowie Abb. 5a) noch die Polare des viel kleineren Flügels einer Essigfliege *Drosophila* (Spannweite 2 mm, Flügeltiefe 1 mm, Re-Zahl ca. 10², Abb. 5b) und eines viel größeren Flugzeugs mit dem Tragflügel-Profil NACA 2409 (Spannweite 15 m, Flügeltiefe 2,5 m, Re-Zahl 10⁶, Abbildung ähnlich 4c) eingezeichnet. Der Vergleich ist recht vielsagend.

Im Vergleich zur Polare von Alsomitra ist die von Drosophila nach rechts verschoben, zwar etwas höher, aber flacher. Das heißt: Die Fruchtfliege arbeitet zwar günstigerweise mit etwas höherem cA, erkauft dies aber mit deutlich höherem cw. Den höheren Widerstand muss sie durch eine entsprechen große Antriebsleistung überwinden. Dafür ist sie "absolut überziehungsfest": Sie kann etwa gleichen Auftrieb mit Anstellwinkeln im Bereich $18^{\circ} < \alpha < 50^{\circ}$ erzeugen, muss bei höheren α-Werten allerdings höhere Leistungen einsetzen. Sie kann sich also praktisch in beliebigen Kräftebereichen bewegen, was sie bei ihrer Art, Luftkräfte zu erzeugen auch nötig hat - ganz im Gegensatz zu Alsomitra, die auf einen engen Gleitzustand festgelegt ist.

Im Vergleich mit der Alsomitra-Polare ist die des Flugzeugs mit dem genannten Tragflügelprofil nach links verschoben, höher und im Abfall steiler. Das Flugzeug erreicht mit seiner viel höheren Re-Zahl ein deutlich höheres ca und erfährt dabei günstigerweise ein deutlich geringeres c_w. Es ist allerdings "überziehungsempfindlich". Bei hohen Anstellwinkeln, bei denen Drosophila gar nicht und Alsomitra kaum mit Auftriebsabfall reagiert, ist am Flugzeugtragflügel die Strömung schon vollständig abgerissen und der Auftrieb zusammengebrochen. Gelangt ein Flugzeug in einen solchen Anstellwinkelbereich, so stürzt es ab. So kann man sagen, dass jedes System seine Vorteile und Nachteile hat, und dass dabei der Reynoldszahl-Bereich eine entscheidende Rolle spielt.

Das bei hoher Re-Zahl fliegende Flugzeug muss bei Start und Landung hohen Auftrieb entwickeln, das heißt mit hohem Anstellwinkel fliegen, darf diesen aber um nichts in der Welt überziehen. Beim Streckenflug fliegt es mit geringem Anstellwinkel, hierbei kommt der geringe Widerstand dem Treibstoffverbrauch entgegen.

Die bei niederer Re-Zahl gleitende Alsomitra-Diaspore muss so gestaltet sein, dass sie innerhalb der mäßig guten Gleitzahlmöglichkeiten, die ihr ebendiese niedere Reynoldszahl vorschreibt (vgl. Nachtigall, 1977), noch das Beste herausholt, also möglichst weit über Grund kommt beziehungsweise möglichst lange in der Luft bleibt. Sie nutzt ihre mäßigen Möglichkeiten denn auch voll aus, und das muss ja auch nur einmal in ihrem Leben funktionieren.

Der bei sehr kleinen Reynoldszahlen arbeitende *Drosophila*-Flügel muss angesichts der unterschiedlichen Flugzustände, die eine kleine Fliege einnehmen kann, in der Luftkrafterzeugung sehr variabel sein. Die besonders kleine Reynoldszahl verhilft ihm zu absoluter Überziehungsfestigkeit. Um seine Anstellwinkel braucht er sich sozusagen nicht sehr zu kümmern, was die Steuerung erleichtert. Allerdings muss der Flugmotor in der Lage sein, bei hohen α-Werten eine ausnehmend hohe Leistung einzusetzen. Das ist der Preis für die Flugsicherheit.

Auch bei Fliegen wachsen die Bäume also nicht in den Himmel.

Danksagung

Der Verfasser dankt Dr. Alfred Wisser, Saarbrücken, für die Zusammenstellung der Abbildungen zu Bildtafeln.

Literaturhinweise

Azuma, A., Okuno, O.: Flight of a samara, *Alsomitra macrocarpa*. J. Theor. Biol. 129, 263–274 (1987).

Dubs, F.: Aerodynamik der reinen Unterschallströmung. 6. Aufl., Birkhäuser, Basel 1990.

Nachtigall, W.: Die Bedeutung der Reynoldszahl und der damit zusammenhängenden strömungsmechanischen Phänomene in der Schwimmphysiologie und Flugbiophysik. Fortschr. Zool. 24, 13–56 (1977).

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

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

Nachtigall, W., Wisser, A.: Nurflügler-Samen von *Alsomitra macrocarpa* – Die besten pflanzlichen Gleitflieger der Welt. Teil 3: Feinbau und Stabilität. Mikrokosmos 100, 377–381 (2011c).

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

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

Kurze Mitteilung

Die Austrocknungstoleranz von Wiederauferstehungspflanzen

Viele Mikroorganismen, Flechten, Moose, sogar Algen ("Luftalgen"), manche Tiere (Bärtierchen) und einige wenige höhere Pflanzen (Tracheophyten) überleben ein Austrocknen. Zwar verlieren die Samen der meisten Tracheophyten beim Reifen Wasser bis zur Lufttrockenheit, aber die Pflanzen selbst sind nicht trockentolerant. Es gibt Ausnahmen bei den Tracheophyten, die auch dann überleben, wenn sie nur 0,1 g Wasser pro 1 g enthalten und die dann weiter wachsen, wenn sie wieder befeuchtet werden. Das sind die Wiederauferstehungspflanzen (resurrection plants).

Wiederauferstehungspflanzen sind ziemlich häufig in den Trockengebieten Südafrikas. *Craterostigma plantagineum* (Scrophulariaceae) und *Myrothamnus flabelliformis* (Myrothamnaceae) wurden relativ oft untersucht. Auf dem Balkan wächst die Gesperiacee *Ramonda ser-*

bica. Bekannt ist Selaginella lepidophylla (Abb. 1), die (falsche!) Rose von Jericho (falsch, weil sie aus Mexiko stammt).

Unter natürlichen Bedingungen trocknen die Pflanzen langsam aus. Das erleichtert die Anpassung durch molekulargenetische Mechanismen, durch Änderungen des Stoffwechsels und durch die Stabilisierung von Makromolekülen und Strukturen. Wenn es dann aber wieder plötzlich regnet, nimmt die Pflanze schnell wieder Wasser auf. Auch dieser Rehydrierungsstress muss toleriert werden. Moore et al. haben kürzlich (2009) zusammengestellt, was man Neues über die molekularen Mechanismen der Austrocknungstoleranz entdeckt hat.

Signalmechanismen. Bei C. plantagineum werden wenige Minuten nach dem Einsetzen von Trockenstress Phospholipid-Signalmoleküle gebildet, so die Phospholipase D. Die Abscisin-





Abb. 1: Selaginella lepidophylla (Rose von Jericho);
a aktive, b eingetrocknete Form (Bilder: http://img01.elicriso.it/it/come_coltivare/selaginella/1 selaginella_lepidophylla.jpg, http://imageshack.us/photo/my-images/222/rosedejricholtatsecpictmp3.jpg/)

säure (ABA), die (auch) ein pflanzliches (Trocken-)Stresshormon ist, induziert die Synthese der Phospholipase D nicht.

Regulation der Genaktivität. Transkriptionsfaktoren sind Proteine, die die Genaktivität beeinflussen. Bei C. plantagineum hat man verschiedene Transkriptionsfaktoren und die sie kodierenden Gene entdeckt. Zwei solche Gene (CpMyb7 und CpMyb10) werden in ihrer Expression durch Trockenstress und durch ABA verändert und bei transgenen Pflanzen von Arabidopsis thaliana (Ackerschmalwand, die wichtigste Modellpflanze der botanischen Gentechniker), die CpMyb10 überexprimieren, ist die Trockentoleranz erhöht.

Bei *C. plantagineum* wurde ein Gen entdeckt, das durch Trockenstress und durch ABA aktiviert wird. Die von ihm gebildete kleine RNA ist keine mRNA, sondern hat regulatorische Funktionen.

Proteine. Es wurden schon zahlreiche mRNAs identifiziert, deren Bildung durch Trockenstress induziert wird. Über die entsprechenden Proteine der Wiederauferstehungspflanzen weiß man aber bislang nur wenig. Man hat zwar gefunden, dass sich das Proteinmuster beim Austrocknen verändert, aber die Proteine, deren Menge sich verändert, sind größtenteils noch nicht identifiziert. Einige dieser Proteine sind an der Photosynthese und am Kohlenhydratstoffwechsel beteiligt.

Schutzmechanismen. Wasserverlust hemmt, ja blockiert schließlich die Photosynthese. Die Chloroplasten absorbieren aber weiter Licht. Um die dadurch entstehenden Photooxidations-Schäden zu vermeiden, bauen manche Wiederauferstehungspflanzen das Chlorophyll beim Eintrocknen ab und resynthetisieren es beim Wiederanfeuchten. Andere schützen sich durch die verstärkte Bildung von Antioxidantien, Enzymen und Substanzen wie Polyphenolen. Die

meisten dieser Antioxidantien kommen auch in "normalen" Pflanzen vor. Bei verschiedenen Populationen von *M. flabelliformis* korrelieren die Reservoire solcher Polyphenole mit der Länge der Trockenperioden (9 Monate in Südafrika, 2–3 Jahre in Namibia). Die Überlebensdauer der Pflanzen hängt von der Größe des Reservoirs ab.

Der Kohlenhydratstoffwechsel wird bei Trockenstress umgeleitet. Es werden mehr Zucker wie Saccharose anstelle von Polysacchariden gebildet. Dadurch wird die Osmolarität erhöht und die Zucker schützen Membranen und Zellorganellen vor Trocknungsschäden. Einen solchen Schutz, nicht nur für Membranen, sondern auch für Cytoskelett-Elemente, gewähren auch die so genannten LEA-Proteine. Bei *Xerophytahumilis* wird die Expression von wenigstens 16 LEA-Genen durch Trockenstress aktiviert. Auch Polyphenole und Hitzeschock-Proteine stabilisieren Zellstrukturen und Makromoleküle bei der Austrocknung.

Fazit. Abschließend betonen Moore et al. (2009), dass die Austrocknungstoleranz auf vielen Faktoren beruht, eine Systemeigenschaft ist und ganzheitlich gesehen werden muss. Über 100 durch Trockenstress induzierbare Gene sind bei Wiederauferstehungspflanzen bislang bekannt. Das zeigt, wie schwierig es sein wird, durch Gen-Transfers die Austrocknungsresistenz von Kulturpflanzen effektiv zu verbessern.

Literaturhinweis

Moore, J. P., Le, N. T., Brandt, W. F., Driouich, A., Farrant, J. M.: Towards a systems-based understanding of plant desiccation tolerance. Trends Plant Sci. 14, 110–117 (2009).

Eberhard Schnepf, Heidelberg

Milkro-Gardoom

Psychodelisches

Es war wieder einmal soweit: Im Institut für Biologie/Zoologie der Freien Universität Berlin wurde von der Arbeitsgruppe Protozoologie der Fortgeschrittenen-Kurs *Ultrastrukturen: REM + TEM* durchgeführt. Im Verlaufe von vier Wochen sollten die Studierenden mit allen konventionellen Techniken der Transmissionsund Rasterelektronenmikroskopie vertraut gemacht werden. Es entstand im Verlaufe dieser Wochen eine beachtliche Reihe von Mikroaufnahmen aus verschiedenen Bereichen der Protistologie.

Besonders attraktiv sind immer wieder Radiolarienskelette, welche mit dem REM ausgesprochen anschaulich dargestellt werden können. Die Aufgabe für die Studenten war es, eine professionelle Bildtafel zu diesem Thema zusammenzustellen, was auch ganz zufrieden stellend gelang.

Irgendwie entwickelte aber dann der Bilderfundus ein Eigenleben und es entstand übers Wochenende unter Beteiligung begnadeter Familienmitglieder der Kursteilnehmer eine Bildkomposition, die wie aus einer anderen Welt kommend anmutet (Abb. 1). So soll es sein! Und das ist auch gut so!

Klaus Hausmann, Berlin

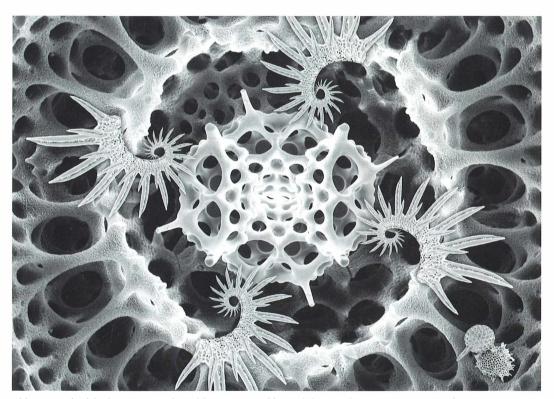


Abb. 1: Psychodelisches: Der von den Bildautoren gewählte Titel dieser gelungenen Komposition lautet sinnigerweise "Ente". Man muss schon im Bild etwas nach dem namensgebenden Geschöpf suchen (Motive: Jonathan Baum, Michael Gerloff, Arantxia Urchueguia; digitale Bearbeitung: Sascha Gerloff).

Minvielse für Auforem

- 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 CD als Word-Dokument ohne spezielle Formatierung eingereicht werden (Arial 12 pt). Bitte keine Trennungen einfügen.
- 3. Tabellen und Bildlegenden (beide jeweils fortlaufend nummerieren) nicht in den Haupttext einbauen, sondern als Anhang auf eigene Manuskriptseiten schreiben. Alle Abbildungen fortlaufend im Text zitieren, aber nicht in den laufenden Text einfügen, sondern gesondert beilegen.
- 4. Als Bildvorlagen sind Farbdias, Schwarzweiß- oder Farbfotos sowie druckfertige Strichzeichnungen und Graphiken geeignet. Alle Materialien namentlich kennzeichnen. Auf den Originalabbildungen keine Beschriftungen vornehmen, sondern nur auf Kopien. Elektronische Abbildungen nur als Tiff-Dateien (300 dpi bei 14 cm Bildbreite) auf CD-R einreichen. Bei digitalen Bildern unbedingt auch eine unbeschriftete Version einreichen. Wenn Beschriftung in digitalen Vorlagen vorgenommen wird, bitte Arial 10 pt normal verwenden; die Nummerierung der Abbildungen in Arial 12 pt fett einfügen. Die Abbildungen so abspeichern, dass die Beschriftung nachträglich verändert werden kann (z. B. in Photoshop die Ebenen nicht vereinen, sondern getrennt belassen).

Die Bilder werden in drei verschiedenen Breiten reproduziert: 7 cm (1-spaltig), 9,5 cm (1,5-spaltig) und 14 cm (2-spaltig = seitenbreit). Es können mehrere Bilder zu Tafeln kombiniert werden. Vergrößerungen sollten erst anhand der Bildandrucke berechnet werden, die vor Drucklegung zusammen mit den Korrekturandrucken der Artikel den Autoren 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 Erstautor erhält von seiner im MIKROKOSMOS veröffentlichten Arbeit kostenlos 25 Sonderdrucke oder ein PDF. Zusätzliche Sonderdrucke können auf Nachfrage vom Verlag auf eigene Kosten bezogen werden.
- 9. Der Verlag honoriert jede Druckseite mit € 30,00, ein Foto, das auf der Titelseite erscheint, mit € 60,00 und ein Foto, das auf der Rückseite erscheint, mit € 45,00.
- 10. Manuskripte bitte einsenden an: Prof. Dr. Klaus Hausmann Redaktion MIKROKOSMOS Institut für Biologie/Zoologie Freie Universität Berlin Königin-Luise-Straße 1–3 14195 Berlin

Des leftte Bild

Das umseitige Bild zeigt das Rädertier Notommata copeus.

Präparationstechnik: Lebendpräparat. Mikroskopiertechnik: Differentieller Interferenzkontrast, Vergr. 150fach. Foto: Martin Kreutz, Konstanz; E-Mail: makreu@gmx.de

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

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



(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: 2012

Band/Volume: 101_1

Autor(en)/Author(s):

Artikel/Article: Mikrokosmos 101 11