

Micrasterias – Die kleinen Sterne

Teil 1: Taxonomie und Mitochondrien

Wolfgang Bettighofer

Die Arten der Zieralgengattung *Micrasterias* sind bekannt für ihre Schönheit. Sternform und Symmetrie begeistern den Algenfreund immer wieder aufs Neue. Ihre Zellgröße macht die Beobachtung auch mit einfachen Ausrüstungen leicht. *Micrasterias* heißt „kleiner Stern“.

Die Gattung kommt weltweit vor und umfasst circa 40 Arten. Sie bevölkert oligotrophe, stehende Gewässer bis hin zu sauren und sehr nährstoffarmen Biotopen wie den Hochmooren. Diese Vertreter der einzelligen, unbegeißelten Grünalgen aus der Gruppe der Zieralgen oder Desmidiaceen (Zygnematophyceae/Streptophyta) bestehen aus einer großen, abgeflachten Zelle, deren Seitenansicht spindelförmig ist. Durch eine zentrale Einschnürung, den Sinus, sind sie jeweils in zwei Halbzellen unterteilt (Abb. 1). Der Zellkern befindet sich immer am Isthmus, der schmalen Verbindungsstelle der beiden Halbzellen. Jede Halbzelle besitzt einen Chloroplasten,

in dem sich Pyrenoide (rundliche Gebilde, an welchen die Speicherstoff-Synthese geschieht) finden. Durch weitere symmetrische Einschnitte innerhalb der Halbzellen entstehen Lappen, welche das Bild eines kleinen Sterns ergeben. Die Lappen enden oft mit kleinen, stachelförmigen Zellwandfortsätzen. Einige Arten tragen solche Stacheln auch an bestimmten Stellen der Zelloberfläche.

Nach dem Aufsammeln zeigen sich die Desmidiaceen sehr unempfindlich. Es ist einfach, diese Algen längere Zeit am Leben zu erhalten. In verschlossenen Probengefäßen (z.B. Film Dosen) überdauern die Algen selbst bei wenig Licht und Temperaturen um 20 °C viele Monate. Sogar in wenigen Millilitern Wasser eines Uhrglases mit ein wenig Detritus leben und vermehren sie sich bei mir seit über einem Jahr, ohne dass ich auch nur ein einziges Mal Nährstoffe zugeführt hätte. Das Uhrglas muss in einer dicht schließenden, feuchten Kammer stehen. Somit sind die kleinen Sterne optimale Objekte für Freunde der Mikroskopie. Sie sind hübsch, zeigen ein interessantes Innenleben und sind anspruchsarm in der Haltung.

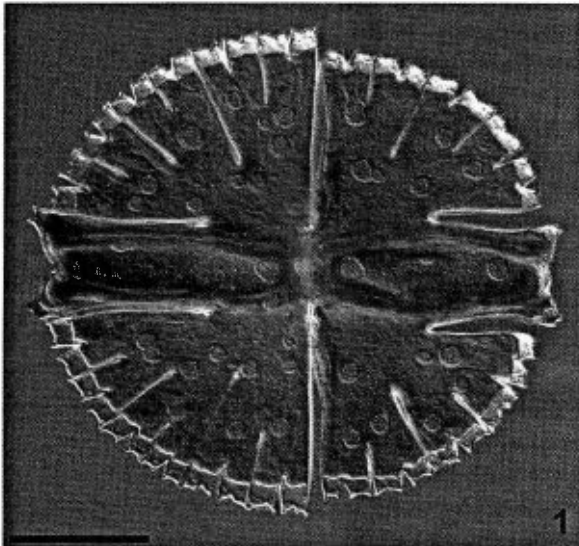


Abb. 1: *Micrasterias rotata*. Darstellung von Umriss, Chloroplasten mit Pyrenoiden und Zellkern. Das Bild ist mit Hilfe von acht digitalen Schichtaufnahmen erstellt worden. Maßbalken 50 µm.

Einordnung in den Baum des Lebens

Die taxonomische Gruppe der Desmidiaceen ist intensiv erforscht, was wohl auch an der Attraktivität ihrer Mitglieder liegt. Man findet sie rund um den Globus. Es gibt Arten, die sich in arktische Bereiche vorwagen (Lenzenweger und Lütz, 2006; Lenzenweger, 2007), andere leben in den Tropen (Lenzenweger, 2003). Aufgrund neuester Erkenntnisse aus Morphologie, Cytologie und Genanalysen befindet sich die Gat-

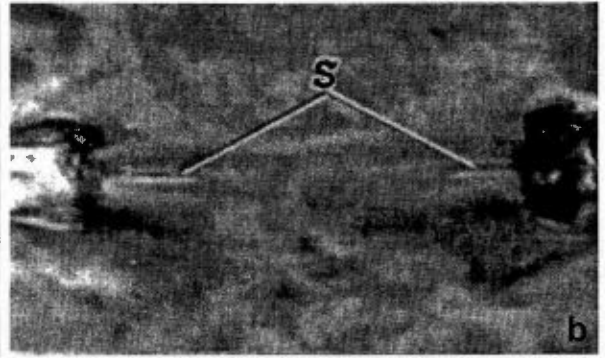
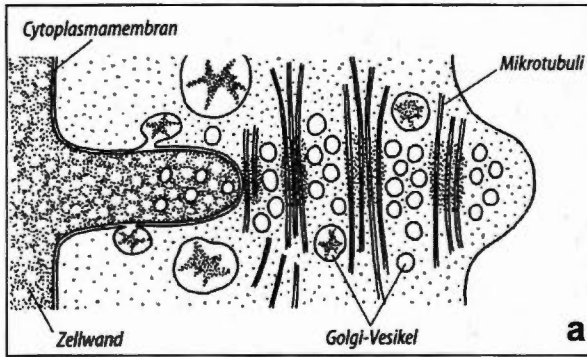


Abb. 2: Der Phragmoplast. **a** Schematisierte Zeichnung eines sich bildenden Phragmoplasten bei der Zygnematophycee *Spirogyra* spec. (nach Lecointre und Le Guyader, 2006). **b** Bildung einer dem Phragmoplasten analogen Scheidewand, dem Septum (S), bei der Zellteilung von *M. denticulata* (nach Kiermayer, 1966)

Die Gruppe *Micrasterias* nach wie vor in der Gruppe der Desmidiaceen, die etwa 40 Gattungen mit 4.000–6.000 Arten umfasst. Innerhalb der übergeordneten Gruppe der Chlorobionten liegen sie im Kladon Phragmoplastophyta zusammen mit den Charophyta (Armleuchteralgen), den Coleochaetophyta (Borstenalgen) und den höheren Pflanzen, den Embryophyta (Lecointre und Le Guyader, 2006). Die Taxonomen sprechen von Kladon (altgriechisch *klados* bedeutet Ast, Verästelung), wenn sie davon ausgehen, dass alle Gruppenmitglieder vom selben Vorfahren abstammen.

Bei allen Arten der Phragmoplastophyta wird im Anschluss an die mitotische Zellteilung in ähnlicher Weise die Querwand (der Phragmoplast) gebildet (Abb. 2). *Phragm* leitet sich ebenfalls aus dem Altgriechischen her und bedeutet Verschluss, Zaun oder Wand. Nach der Teilung des Zellkerns bildet sich in der Mitte der Zelle ein neues Mikrotubuli-Netz, welches parallel zum ehemaligen Spindelapparat der Kernteilung angeordnet ist. Es leitet die vom Golgi-Apparat gebildeten Vesikel mit Wandsubstanzen zur Aufbaustelle der neuen Querwand. Die Gesamtheit aller Dictyosomen einer Zelle nennt man Golgi-Apparat. In den Dictyosomen werden Basissubstanzen (Pektine) zum Aufbau der Querwand hergestellt und in Membran umschlossenen Paketen, den Golgi-Vesikeln, abgeschnürt. Mikrotubuli sind feine (25 nm dicke und bis zu 100 µm lange) Gerüstrohren, deren Aufbau in allen eukaryotischen Zellen gleich ist und die Stützfunktionen im Cytoplasma wahrnehmen, aber auch Leitbahnen für intrazelluläre Vesikeltransporte darstellen (Kleinig und Maier, 1999).

Die nächsten Verwandten (Schwesterklade) der Zygnematophyceae sind die Plasmodesmophyta. Bei ihnen wird während des Aufbaus des Phragmoplasten dafür gesorgt, dass Zelldurchbrüche für Kommunikationskanäle zwischen den benachbarten Zellen erhalten bleiben. Innerhalb der Plasmodesmophyta finden sich Charophyta, Coleochaetophyta und alle höheren Pflanzen. Die Paläobotaniker nehmen an, dass sich die höheren Pflanzen vor circa

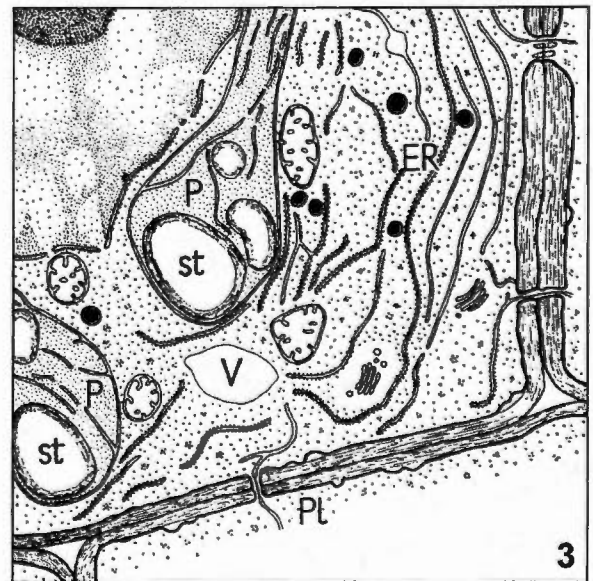


Abb. 3: Die Plasmodesmen. Schema einer jungen Zelle der Plasmodesmophyta. Neben Zellorganellen wie den Plastiden (P), Vakuolen (V), Mitochondrien (M) und dem Endoplasmatischen Retikulum (ER) sind die Zelldurchbrüche mit den Plasmodesmen (Pl) eingezeichnet (nach Strasburger, 1971).

450 Mio. Jahren ausgehend von einem gemeinsamen Vorfahren mit den Charophyta entwickelt haben. Aus diesen Ausführungen geht hervor, dass die Desmidiales als ziemlich nahe Verwandte sämtlicher Landpflanzen eingestuft werden.

Die Zellen der Plasmodesmophyta enthalten neben Zellorganellen wie Plastiden, Vakuolen, Mitochondrien und dem Endoplasmatischen Retikulum Zellwanddurchbrüche (Abb. 3). Diese Durchbrüche ermöglichen die Verbindungen der Protoplasten benachbarter Zellen mittels Plasmodesmen (desmos aus dem altgriechischen bedeutet Verbindung, Strick, Fessel). Alle diese Erklärungen zu Wortelementen der Fachsprache der Biowissenschaften findet man in dem sehr empfehlenswerten Lexikon von Werner (1972). Über diese Plasmaverbindungen werden Nähr- und Botenstoffe ausgetauscht. Sind die Zellwände dicker, so kann man diese Zellwanddurchbrüche im Lichtmikroskop als Tüpfelkanäle sehen.

Lichtmikroskopische Untersuchungen an *Micrasterias*-Arten

Micrasterias rotata (Abb. 1) ist einer der Stars unter den Desmidiaceen, was die Schönheit der

Form und die Zellgröße anbelangt (Länge 200–300 µm, Breite 190–270 µm). Dem Mikrofotografen ist sie wohl gesonnen, denn sie ist flach aufgebaut. Es ist deswegen relativ einfach, eine Aufnahme herzustellen, die beispielsweise den Zackenrand des Zellumrisses zusammen mit dem Chloroplasten und den charakteristischen Pyrenoiden scharf abbildet.

Zusätzliche Schärfentiefe kann man gewinnen, wenn man digital fotografiert oder Film-Originale digitalisiert und dann unterstützt von so genannter Stacking-Software mehrere Aufnahmen mit unterschiedlichen Schärfenebenen zu einem Bild mit ausgedehnter Schärfenzone zusammenrechnen lässt. Bei Schichtaufnahmen, welche mit hochaperturigen Objektiven angefertigt werden, ist der Kontrast trotz des Einsatzes von Verfahren wie dem Differential-Interferenzkontrast (DIK) oder dem Phasenkontrast (Phako) oft nur mäßig, und die Schärfenonen sind kleinflächig. Bei derartigen Bilddaten hat Stacking-Software häufig Probleme, Schichtaufnahmen zu einem Bild automatisiert zusammenzusetzen, ohne dass ins Auge springende Artefakte entstehen (Günther, 2002; Bettighofer, 2006). Deswegen habe ich die Schichtaufnahmen von Abbildung 1 in Handarbeit zu einem Gesamtbild zusammengefügt.

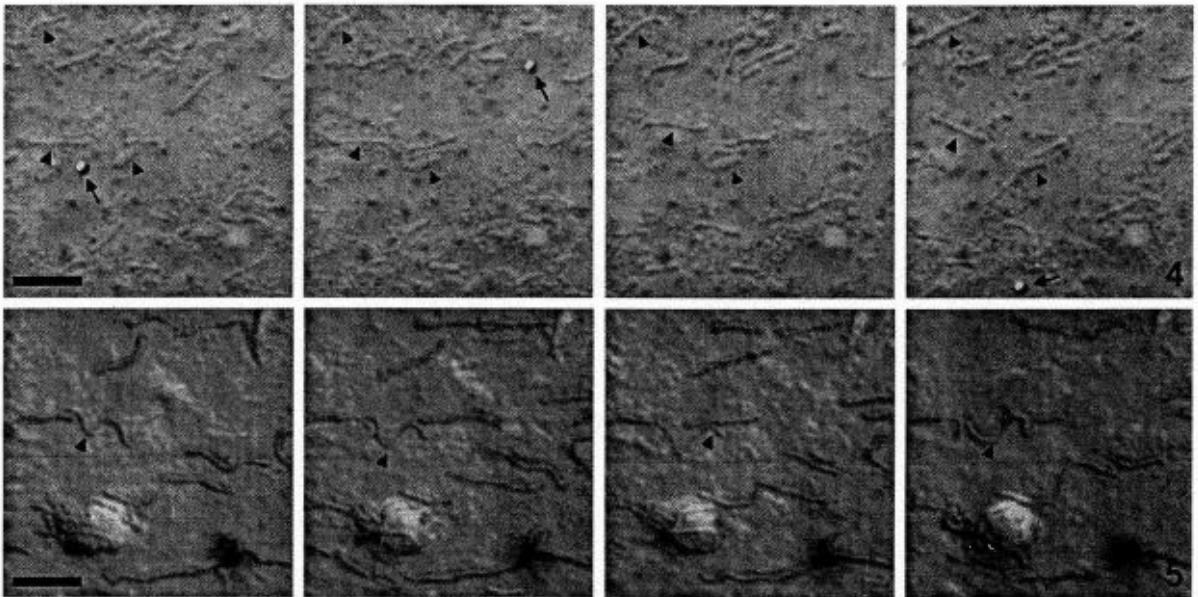


Abb. 4 und 5: Unterschiedliche Partikeltypen im Organellenstrom von *M. rotata*. Die Teilbilder der Aufnahmeserien sind jeweils im Sekundentakt aufgenommen. Pfeile = Öltropfen, Pfeilköpfe = Mitochondrien. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden lediglich die Bewegungsstadien einiger Mitochondrien markiert. Maßbalken 5 µm.

Mitochondrien

Untersucht man die Algen bei höherer Vergrößerung (ab einer Apertur von ca. 1,0), so ist eine ganze Reihe von Gebilden im Zellplasma unterscheidbar. Fokussiert man ausgehend von der Zelloberfläche langsam in das Zelllumen hinein (kontraststeigernde Maßnahmen wie schräge Beleuchtung oder Differentieller Interferenzkontrast sind hilfreich), so erblickt man knapp unterhalb der Zellwand einen regen Organellenstrom. Bei dessen genauerer Beobachtung konnte ich kleine, starre, kreisrunde von länglichen, formveränderlichen Gebilden unterscheiden. Die kleinen runden Körper mit Durchmessern unter $0,5\ \mu\text{m}$ wurden von der Cytoplasmaströmung schnell bewegt – sie sind auf den Aufnahmen von Abbildung 4 schwach als dunkle Punkte erkennbar –, die länglichen hingegen pendelten meist um eine Stelle wie Fahnen im Wind (Abb. 4 und 5, Pfeilköpfe). Daneben waren immer wieder hoch lichtbrechende Kugeln mit Durchmessern über $0,5\ \mu\text{m}$ zu sehen, höchstwahrscheinlich Öltropfen (Abb. 4, Pfeile).

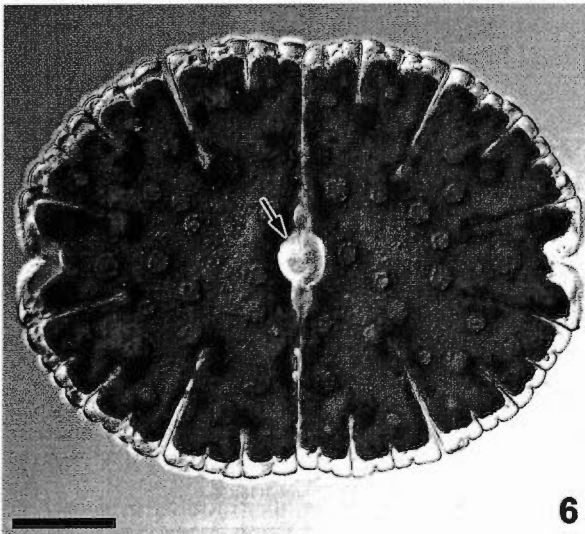
Durch den Vergleich mit Strukturen, die Drawert und Mix 1961 bei *M. rotata* beschrieben hatten, erkannte ich, dass es sich bei den länglichen Gebilden um Mitochondrien handeln musste. Ähnliche Arten der Form- und Ortsveränderung bei Mitochondrien hat beispielsweise Bereiter-Hahn 1978 an Endothelzellen von Kaulquappenherzen dokumentiert.

Untersuchung weiterer *Micrasterias*-Arten

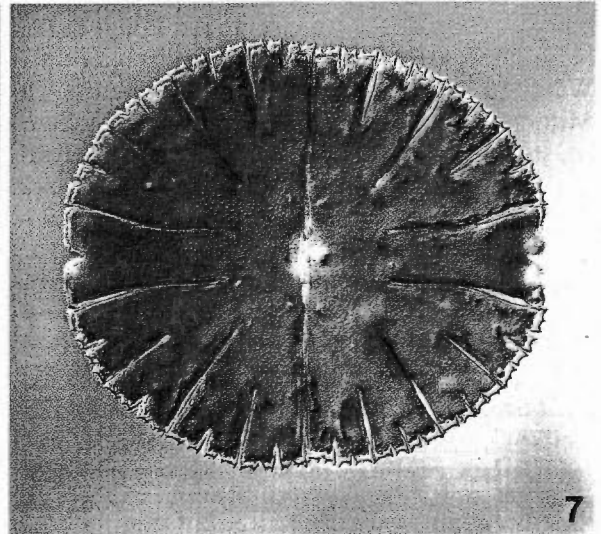
Nach diesen Entdeckungen bei *Micrasterias rotata* interessierte es mich, ob ähnliche Beobachtungen auch bei anderen großzelligen *Micrasterias*-Arten wie *M. denticulata* und *M. thomasiana* var. *notata* möglich sein würden. Bei deutlich kleineren Arten wie beispielsweise *M. truncata* ist die Plasmaströmung zwar ebenfalls sichtbar, die Partikel sind jedoch zu klein, um sie im Lichtmikroskop eindeutig irgendwelchen Gruppen zuordnen zu können.

M. denticulata (Abb. 6) findet man häufig in sauren bis schwach sauren Gewässern von Flachmooren, Streu- und Sumpfwiesen, oligotrophen Gewässern wie etwa Waldtümpeln oder Randgebieten von Hochmooren. Sie stellt an das Umfeld also ähnliche Ansprüche wie *M. rotata*, ist aber nicht ganz so weit verbreitet und tritt in der Regel auch nicht so massenhaft auf. Die seltenere *M. thomasiana* var. *notata* (Abb. 7) hat ähnliche ökologische Ansprüche wie *M. denticulata*. Meistens trifft man auf die Varietät *notata*. Die Typusvarietät (*M. thomasiana* var. *thomasiana*) ist wesentlich seltener zu finden (Lenzenweger, 1996).

Bei *M. denticulata* (Abb. 8) waren die Mitochondrien ebenso wie bei *M. rotata* ständig in schwingender und tanzender Bewegung. Sie waren jedoch voluminöser, ihre Anzahl war wesentlich geringer, und sie befanden sich meist tiefer in der Zelle in Chloroplastennähe. Sie zeigten sich deshalb seltener so klar wie bei



6



7

Abb. 6: *Micrasterias denticulata*, Darstellung von Umriss, Chloroplasten mit Pyrenoiden sowie Zellkern (Pfeilspitze). 20 Schichtaufnahmen handmontiert. – Abb. 7: *Micrasterias thomasiana* var. *notata* mit Umriss und Struktur der Zelloberfläche. 35 Schichtaufnahmen handmontiert. Maßbalken $50\ \mu\text{m}$.

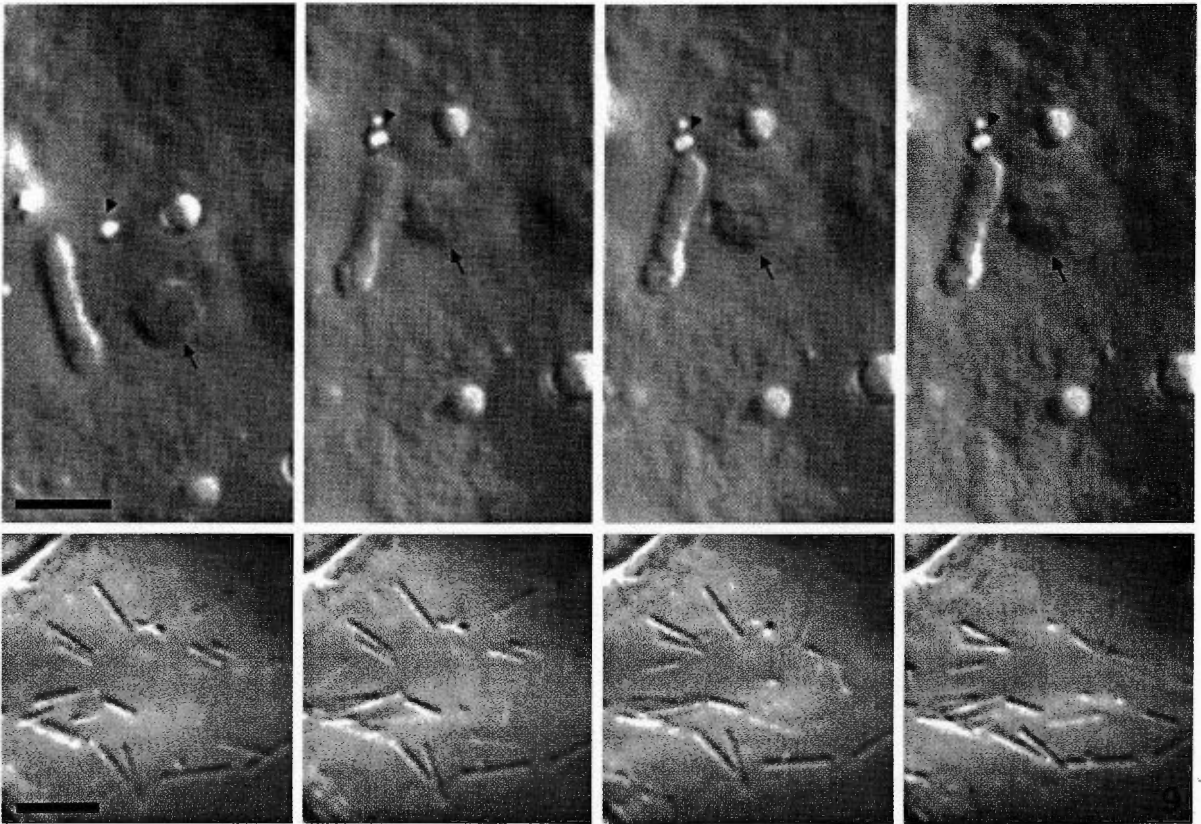


Abb. 8: Serienaufnahmen von Mitochondrien bei *M. denticulata* in schwingender Bewegung zusammen mit einem Standard-Dictyosom (Pfeil) sowie Ölkugeln (Pfeilspitze). – **Abb. 9:** Die selten beobachtete Lageveränderung von länglich-starren Strukturen bei *M. thomasiana* var. *notata* ist zu sehen. Die Bilder der Serien wurden jeweils im Sekundenabstand aufgenommen. Maßbalken 5 μm .

M. rotata. Bei *M. thomasiana* var. *notata* hingegen existieren viele glattrandige, stäbchenförmige Gebilde, die meist unbeweglich lagen (Abb. 9).

Während die Zuordnung des Gesehenen zu Mitochondrien bei *M. denticulata* unzweifelhaft ist, stellt sich bei der Starrheit und Unbeweglichkeit der Stäbchen bei *M. thomasiana* var. *notata* die Frage, ob es sich hierbei nicht vielleicht um Bakterien handeln könnte.

Mitochondrien stammen nach heutiger Lehrbuchmeinung von vormals selbständigen aeroben Prokaryoten (Bakterien) ab, die mit dem Zwischenschritt einer Symbiose im Laufe der Evolution der Eukaryoten als teil-selbständige Zellkomponenten aufgenommen wurden, wobei die bakterielle Zellwand verloren ging (Sagan, 1967; Bell, 2001; Plattner und Hentschel, 2006). Sie besitzen ein eigenes (reduziertes) Genom. Mitochondrien sind meist längliche Organellen mit Abmessungen von $0,2\text{--}1 \times 2\text{--}8 \mu\text{m}$, was der Größe der meisten Bakterien ent-

spricht, und sie teilen sich selbständig. Sie können jedoch auch langgestreckt, verzweigt oder sackförmig sein. Sie sind oftmals formveränderlich und werden häufig von der Plasmaströmung verlagert. Die Anzahl der Mitochondrien kann von Zelltyp zu Zelltyp sehr variieren. Manche Eimutterzellen haben mehr als 100.000, die Trypanosomen (Flagellaten; eine Art ist der Erreger der Schlafkrankheit) besitzen lediglich eines, welches allerdings fast den ganzen Zellkörper durchzieht und ein relativ bedeutendes Volumen einnimmt.

Literaturhinweise

- Bell, P. J. L.: Viral eukaryogenesis: Was the ancestor of the nucleus a complex DNA virus? *J. Mol. Evol.* 53, 251–256 (2001).
- Bereiter-Hahn, J.: Intracellular motility of mitochondria: Role of the inner compartment in migration and shape changes of mitochondria in XTH-cells. *J. Cell Sci.* 30, 99–115 (1978).
- Bettighofer, W.: Zeichnen an Mikroskop – Erleben mit dem Bleistift. *Mikrokosmos* 95, 233–245 (2006).

- Coesel, P. F. M., Krienitz, L.: Diversity and geographic distribution of desmids and other coccoid green algae. *Biodiv. Conservation* 17, 381–392 (2008).
- Drawert, H., Mix, M.: Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen an Desmidiaceen. *Planta* 56, 237–261 (1961).
- Gerrath, J. F.: The biology of desmids: A decade of progress. In: Round, F. E., Chapman, D. J. (eds.): *Progress in phycological research* 9, pp. 79–192. Biopress, Bristol 1993.
- Günther, G.: Hardware und Software für Mikroskopiker – Die Adaption der Nikon Coolpix 990 und die Anwendung aktueller Programme zur Bildbearbeitung. *Mikrokosmos* 91, 231–239 (2002).
- van den Hoek, C., Jahns, H. M., Mann, D. G.: *Algen*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1993.
- Kiermayer, O.: Septenbildung und Cytomorphogenese von *Micrasterias denticulata* nach der Einwirkung von Äthanol. *Planta* 71, 305–313 (1966).
- Kiermayer, O.: The distribution of microtubules in differentiating cells of *Micrasterias denticulata* Bréb. *Planta* 83, 223–236 (1968).
- Kleinig, H., Maier, U.: *Zellbiologie*, 4. Auflage. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1999.
- Kramer, G.: Plasmaeinschlüsse bei einigen Desmidiaceen-Gattungen. *Protoplasma* 52, 184–211 (1960).
- Lecointre, G., Le Guyader, H.: *Biosystematik*. Springer Verlag, Heidelberg 2006.
- Lenzenweger, R.: *Desmidiaceenflora von Österreich, Teil 1*. Verlag J. Cramer, Stuttgart 1996.
- Lenzenweger, R.: Desmids of southern Greenland. In: *micro*scope* (2007). <http://starcentral.mbl.edu/microscope/portal.php?pagetitle=collectiondetails&collectionID=556>
- Lenzenweger, R., Lütz, C.: Beitrag zur Kenntnis der Zieralgenflora (Desmidiaceae, Zygnematophyceae) Spitzbergens. *Algol. Stud.* 119, 79–89 (2006).
- Lenzenweger, R.: Zieralgen aus Thailand. *Mikrokosmos* 92, 207–209 (2003).
- Plattner, H., Hentschel, J.: *Zellbiologie*, 3. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2006.
- Sagan, L.: On the origin of mitosing cells. *J. Theoret. Biol.* 14, 255–274 (1967).
- Strasburger, E., von Denffer, D., Ehrendorfer, F., Mägdefrau, K., Schumacher, W.: *Lehrbuch der Botanik*, 30. Auflage. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1971.
- Turmel, M., Otis, C., Lemieux, C.: The complete chloroplast DNA sequences of the charophycean green algae *Staurastrum* and *Zygnema* reveal that chloroplast genome underwent extensive changes during the evolution of the Zygnematales. *BMC Biology* 3:22 doi:10.1186/1741-7007-3-22 (2005).
- Werner, F. C.: *Wortelemente lateinisch-griechischer Fachausdrücke in den biologischen Wissenschaften*. Suhrkamp Verlag, Frankfurt/M. 1972.
- Verfasser: Wolfgang Bettighofer, Rutkamp 64, 24111 Kiel, E-Mail: wolfgang.bettighofer@gmx.de

Aus den Arbeitsgemeinschaften

Mikroskopische Gesellschaft Wien

Programm
September bis Dezember 2008



02. 09.: Mikroprojektion – Besprechung von Präparaten, Kurzvorträge, Berichte
09. 09.: Friedrich Werthl: Präparationsabend Botanik
16. 09.: Ing. Daniel Böswirth: Lupenfotografie (mit Dias)
23. 09.: Prof. Herbert Wenninger: Präparationsabend Botanik
30. 09.: Dr. Thomas Kann: Präparationsabend Histologie
07. 10.: OStR. Prof. Peter Schulz: Präparationsabend Botanik
14. 10.: Klaus Boiger: Biologie der Spinnen – Teil 5 (mit LCD-Beamer)
21. 10.: Prof. Alfred Ratz: Blütenpflanzen der Lobau (mit LCD-Beamer)
28. 10.: Mag. Walter Ruppert: Präparationsabend Botanik

04. 11.: Peter Rescher: Das Leben im Wassertropfen (mit LCD-Beamer)
11. 11.: Herbert Palme und Peter Pavlicek: Präparationsabend Gesteinsdünnschliffe, Forellenstein
18. 11.: Herbert Palme und Peter Pavlicek: Präparationsabend Gesteinsdünnschliffe (Fortsetzung vom 11.11.08)
25. 11.: Alfred Schultes: Mikro-Dias-Abend
02. 12.: OStR. Prof. Erich Steiner: Präparationsabend mit mikropaläontologischem Material
11. 12.: Weihnachtsfeier

Anmerkung: Die MGW bietet gegen Porto- und Versandkostenersatz Lebendmaterial (*Euglena viridis* und *Paramecium caudatum*) an. Lieferzeit circa vier Wochen nach Bestellung.

Alle Vorträge und Kurse finden in den Räumen der Gesellschaft in Wien, Marinelligasse 10a an Diens- tagen statt und beginnen um 19:15 Uhr. Gäste sind willkommen.

Kontaktadresse: OStR. Prof. Erich Steiner, A-1120 Wien, Altmayergasse 11/6; Tel./Fax: 01/8 13 84 46..