



Erschienen im MIKROKOSMOS 97, 355–360 (2008), überarbeitete Version (2021)
Korrektur Brigitta Scherzer 2021

Micrasterias – die kleinen Sterne

Teil 2: Dictyosomen

Micrasterias ist eine Gattung, die dem Algenforscher viel zu bieten hat. Das lässt sich aus der Tatsache schließen, dass sie von der Sektion Phycologie der Deutschen Botanischen Gesellschaft zur Alge des Jahres 2008 gekürt worden ist. Auch uns Hobby-Biologen mit der Beschränkung auf das Lichtmikroskop bietet sie interessante Einblicke ins Zellinnere. Hatten im ersten Teil dieses Berichts neben der generellen Taxonomie und Morphologie Beobachtungen von Mitochondrien in Vordergrund gestanden, so liegt der Schwerpunkt des zweiten Teils auf einem Organellentyp, welcher sich äußerst selten in einfacher Weise lichtmikroskopisch beobachten lässt, nämlich den Dictyosomen.

Während der Erstellung der Schichtaufnahmen für eine hochaufgelöste Ansicht von *Micrasterias rotata* waren mir in der Cytoplasma-Schicht unterhalb des im Teil 1 behandelten Organellenstroms eine größere Anzahl runder Gebilde aufgefallen, bei welchen sich im DIK ab einer Apertur von ca. 0,75 eine Binnenstruktur differenzieren ließ (Abb. 1). Sie zeigten konzentrische Innenkörper mit abweichendem Brechungsindex. Es waren ca. 25 bis 40 solcher Körper pro Zelle zu sehen, ihre Größe lag zwischen 2,5 und 5 μm .

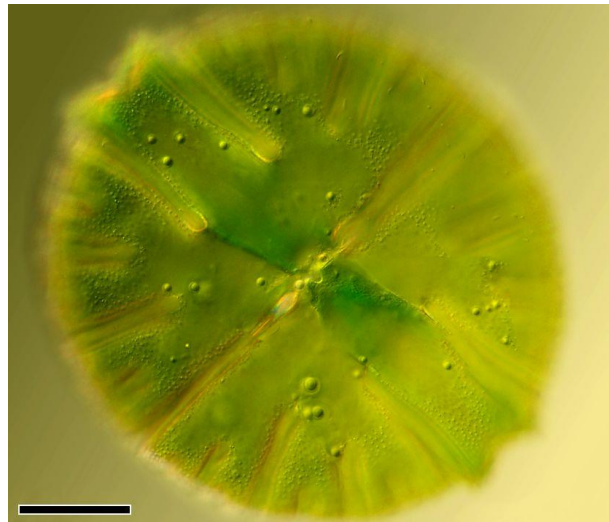


Abb. 1: Übersichtsaufnahme von *M. rotata*. Die rundlichen Gebilde sind Dictyosomen. Synoptische Darstellung von Zelloberfläche und ca. 35 Dictyosomen aus 7 Schichtaufnahmen. Maßbalken 50 μm .

Sollten das Öltröpfchen sein? Es ist bei Desmidiaceen weit verbreitet, Öl als Reservestoff zu speichern. Gegen diese Interpretation sprach allerdings die mehrschichtige Struktur (Abb. 2a bis c). Es wurden bald weitere Cytoplasmaeinschlüsse gefunden, welche wesentlich besser zum Erscheinungsbild von Öltröpfchen passten (Abb. 2a unten). Außerdem war festzustellen, dass die Öltröpfchen von der Cytoplasmaströmung beliebig weit verlagert wurden, während die großen runden Gebilde meist ortstreu blieben und leicht um ihren Fixpunkt pendelten. Welche Zellstruktur passte zu diesen Erscheinungen? Nach Diskussionen mit Freunden und Recherchen in entsprechender Literatur erhärtete sich meine Vermutung, dass es sich um Membranstapel des Golgi-Apparats, um Dictyosomen handeln könnte.

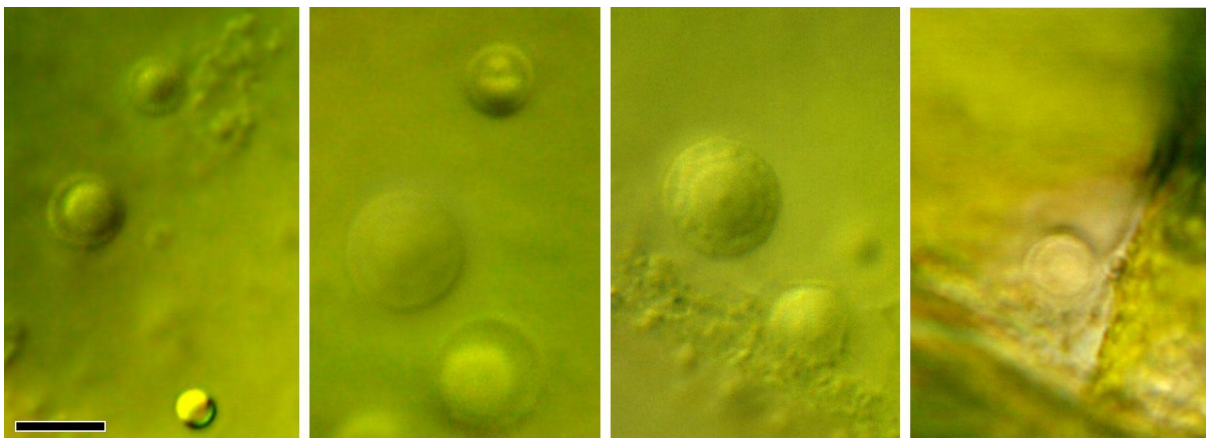


Abb. 2: Schleimproduzierende Dictyosomen von *M. rotata*. a: Mit Sphaerosomen (Öltröpfchen; unten). b: Seltene Entdeckung: ein Dictyosom in Teilung. c: In günstigen Fällen wurden Muster sichtbar, welche auf Vesikelstrukturen hindeuteten. d: Hellfeld-Aufnahme. Maßbalken 5 μm .

Elektronenoptische Aufnahmen lassen erkennen, dass Dictyosomen grundsätzlich von einem Kranz von kleinen membranumschlossenen Bläschen, den Golgi-Vesikeln, umgeben sind (die Abbildung 3 zeigt einen Querschnitt). Die glattrandigen Objekte aus den Abbildungen 2a und 2b passten zunächst nicht zum erwarteten Bild. Wegen der beschränkten Auflösung des Lichtmikroskops sind jedoch die kleinen und kleinsten Abschnürungen nicht darstellbar. Waren die Dictyosomen nahe am Deckglas, so konnte ich manchmal sogar Ansätze von Vesikeln beobachten (Abb. 2c). Selbst nach Umschalten auf Hellfeld blieben einige Dictyosomen sichtbar, so sie sich in günstiger Position befanden (Abb. 2d). Ein Dictyosom zeigte eine Einschnürung im zentralen Bereich (Abb. 2b). In der Literatur (Menge und Kiermayer, 1977; Noguchi, 1978) fanden sich elektronenmikroskopische Aufnahmen, die zeigen, dass dieses Bild einem Teilungsstadium entsprechen könnte.

Der Golgi-Apparat

Der Golgi-Apparat ist ein wichtiger Synthesort der Zelle, in welchem in Zusammenarbeit mit dem endoplasmatischen Reticulum (ER) Proteine und Polysaccharide für die unterschiedlichsten Zwecke (Enzyme, Membranproteine, Zellwandgrundsubstanzen, exkretorische Materialien) produziert bzw. modifiziert werden. Ist die Substanz fertiggestellt, so schnüren sich vom Dictyosom Golgi-Vesikel ab. Diese werden dann vom Transportsystem der Zelle (Mikrotubuli und Motorproteine) an die Einsatzstelle verschoben (Kleinig und Mayer, 1999; Plattner und Hentschel, 2006; Meindl et al., 1992). Dictyosomen produzieren auch Schuppen, wie man sie beispielsweise von den Goldalgen, den Schalenamöben oder den Sontentierchen kennt.

Dictyosomen sind üblicherweise zu klein und zart, um sie im Lichtmikroskop identifizieren zu können. Die großen *Micrasterias*-Arten machen da eine Ausnahme. Deren ungewöhnlich große und kontrastreiche Dictyosomen wurden schon in den 1960er Jahren beschrieben. Allerdings sind die Fotografien in den mir vorliegenden Arbeiten

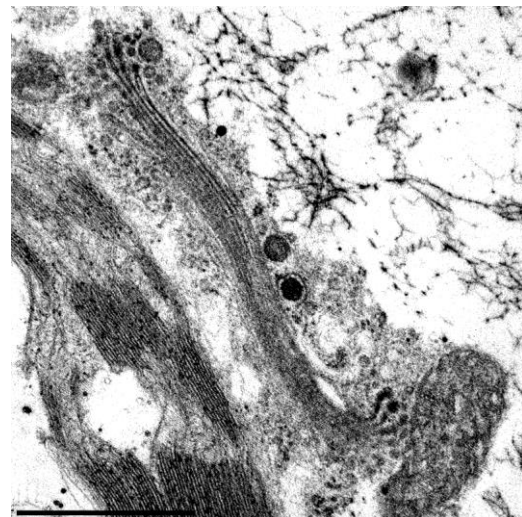


Abb. 3: Querschnitt durch ein Dictyosom einer *Micrasterias denticulata*. Das Bild zeigt außerdem einen Schnitt durch ein Mitochondrium (rechts unten) sowie durch einen Chloroplasten (diagonal verlaufend von links oben zur Mitte unten). Präparation und Aufnahme von Dr. Detlef Kramer, TU Darmstadt. Maßbalken 1 µm.

allesamt elektronenoptisch erzeugt worden. Ohne diese Befunde wäre eine gesicherte Zuordnung der lichtmikroskopisch beobachteten Phänomene schwer möglich. Für Mitochondrien gilt Ähnliches. Sichere Befunde liefern oft nur elektronenmikroskopische Abbildungen (Drawert und Mix, 1961; Kiermayer, 1965, 1967, 1970; Staehelin und Kiermayer, 1970;). Differential-Interferenzkontrast und Phasenkontrast (so das Präparat dünn und farbarm ist) erlauben jedoch Beobachtung im Leben und bei *M. rotata* auch eine sichere Zuordnung.

Dictyosomen als Schleimproduzenten

Zieralgen besitzen eine spezielle Form von Dictyosomen, welche Schleim, bestehend aus Polysacchariden, herstellen. Ihr Durchmesser ist mit etwa 5 µm im Vergleich zu jenen bei anderen Algengruppen und normalen Pflanzenzellen unverhältnismäßig groß.

Mittels dieses Schleims können sich die Zieralgen selbständig bewegen (Linne von Berg und Melkonian, 2003), um sich nach dem Licht auszurichten und sogar in Richtung des Lichtes zu wandern. Wird es dunkel, so stellen sich *Micrasterias*-Zellen lotrecht (Abb. 4b). So haben sie die größtmögliche „Sensorfläche“ auf die zu erwartende Einfallrichtung des Lichtes zu Beginn der nächsten Helligkeitsperiode. Bei Dämmerung richten sie sich anfänglich senkrecht zum Lichteinfall stehend aus. Der IWF-Film C1496 von Wenderoth (1985) zeigt dies in eindrucksvoller Weise. Wenn man in diesem Film den voluminösen Ausstoß von Schleim zu Fortbewegungszwecken sieht, fragt man sich unwillkürlich, woher die Zellen diese Materialfülle nehmen. Der Vorgang wird nur verständlich, wenn man von einer hohen Quellfähigkeit des in den Golgi-Vesikeln noch kompakt vorliegenden Schleims ausgeht. So wurde beispielsweise an Wurzelspitzen von Mais gemessen, dass der dort austretende Schleim um das 1000fache voluminöser war als in den zuliefernden Schleimvesikeln (Steer, 1985).

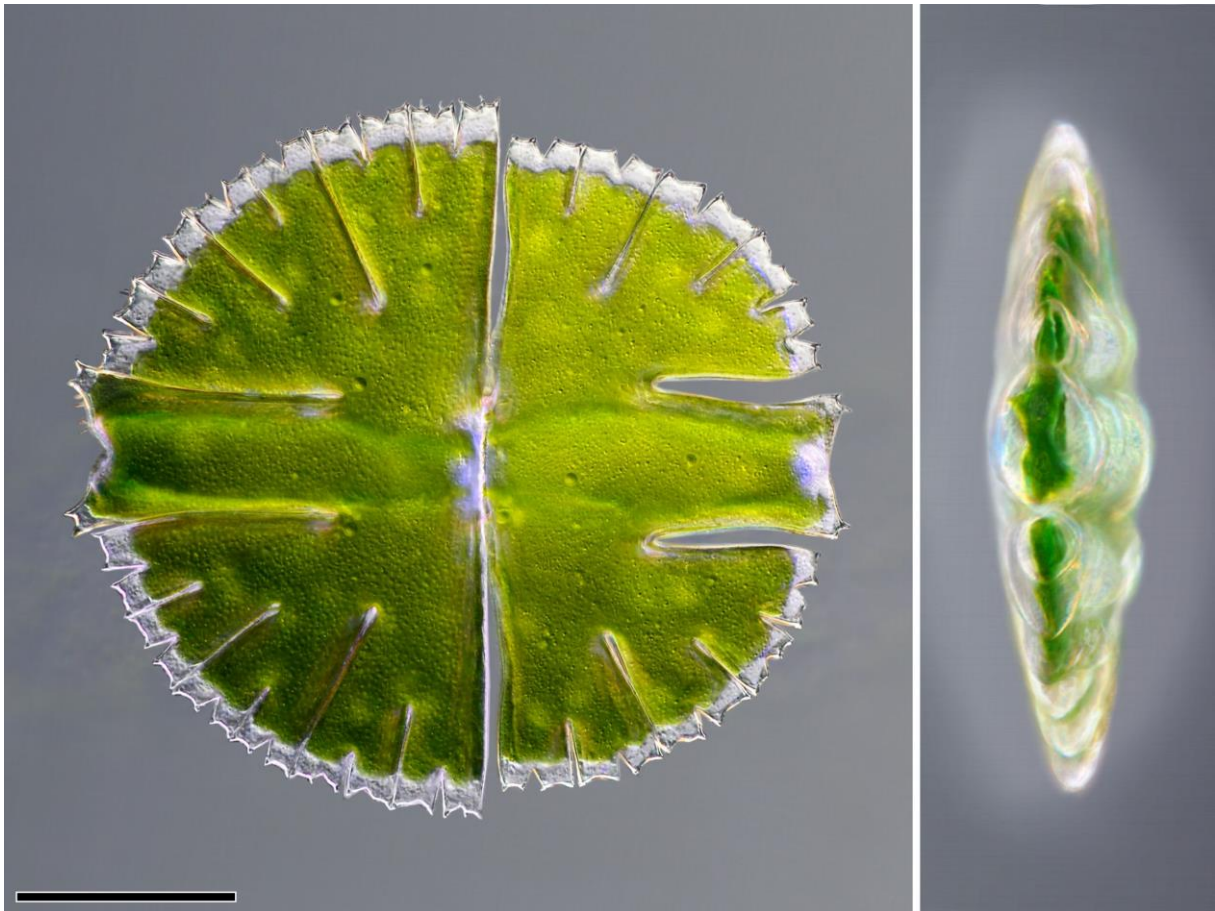


Abb. 4: *Micrasterias rotata*.

a: synoptische Darstellung von Umriss, Oberflächenstruktur und schleimproduzierenden Dictyosomen. Dieses Bild ist aus 40 Schichtaufnahmen erstellt worden.

b: Eine auf dem Deckglas senkrecht stehende *M. rotata*, aufgenommen mit einem inversen Mikroskop. Mittels Corel Photopaint manuell aus 27 Schichtaufnahmen montiert. Maßbalken 50 μm .

Vesikelablösung bei *Micrasterias rotata*

Während länger andauernden Beobachtungen auf der Schärfenebene der Dictyosomen konnte ich mehrmals die Ablösung eines großen Vesikels auf deren Äquatorialebene verfolgen (Abb. 5). Zunächst beulte sich der Rand der äußeren Kreislinie aus, das ganze Gebilde sah aus wie eine Schülerlotsenkelle mit kurzem Stiel (Abb. 5a). Dieser Stiel war in Bewegung: Er flatterte wie ein im steifen Wind hängender Windsack (kleine schnelle Oszillationen am Ende) und wurde länger. Manchmal weitete er sich zu einer Blase aus und es entstand für einige Zeit ein hantelförmiges Gebilde mit ungleichen Kugeldurchmessern. Nach und nach wurde der Verbindungsstrang in die Länge gezogen und dünner. Nach Ablösung verschwanden die Vesikel in der Cytoplasmaströmung. Solche Vorgänge dauerten jeweils rund vier Minuten.

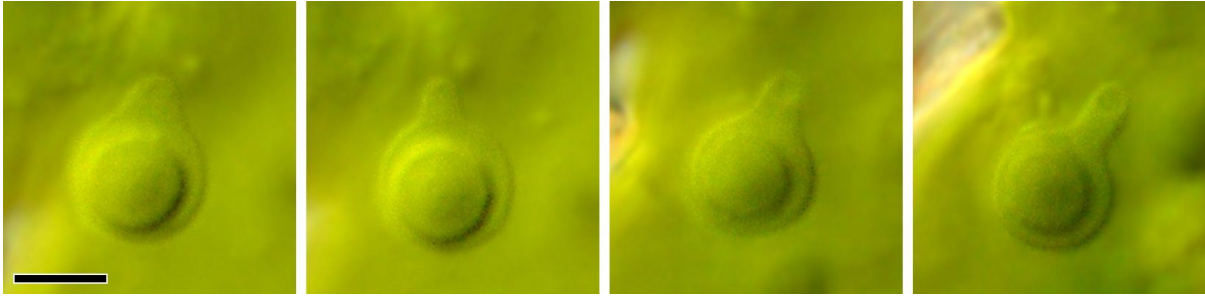


Abb. 5: *M. rotata*. Ablösung eines großen Vesikels von einem Dictyosom. Maßbalken 5 μm .

Noguchi (1978) hat schleimproduzierende Dictyosomen von *Microsterias americana* elektronenmikroskopisch untersucht, sie werden dort als *curved dictyosoms* bezeichnet. Sie haben einen elliptischen Querschnitt, die Membranstapel sind wannenförmig gebogen und es werden Riesenvesikel mit Durchmessern von 1,2 bis 1,8 μm gebildet.

Der Vergleich mit *Microsterias apiculata*

M. apiculata beinhaltet zwei Arten von Partikeln mit ähnlichem Aussehen und ähnlichen Brechungseigenschaften wie die Golgi-Stapel, welche bei *M. rotata* zu sehen sind. Abb. 6a zeigt den ersten Typ, diese Partikel waren meistens peripher gelagert. Sie haben eine hohe optische Dichte und sind auch im Hellfeld gut zu sehen. Sie zeigen auch nicht die für die Dictyosomen charakteristischen Pendelbewegungen. Sie glänzen aber zu matt für Sphaerosomen (Öltröpfchen). Zur genauen Diagnose wäre eine Untersuchung mit dem TEM nötig.

In der Nähe des Kerns fanden sich jedoch genau jene Strukturen, die bei *M. rotata* beschrieben worden sind. Hier sollte es sich ebenfalls um Dictyosomen handeln. Die Abbildungen 6b und 6c zeigen die beiden Partikeltypen in gemeinsamer Umgebung. Die Pfeilköpfe weisen auf Dictyosomen, die Pfeile auf „die andere“ Partikelart.

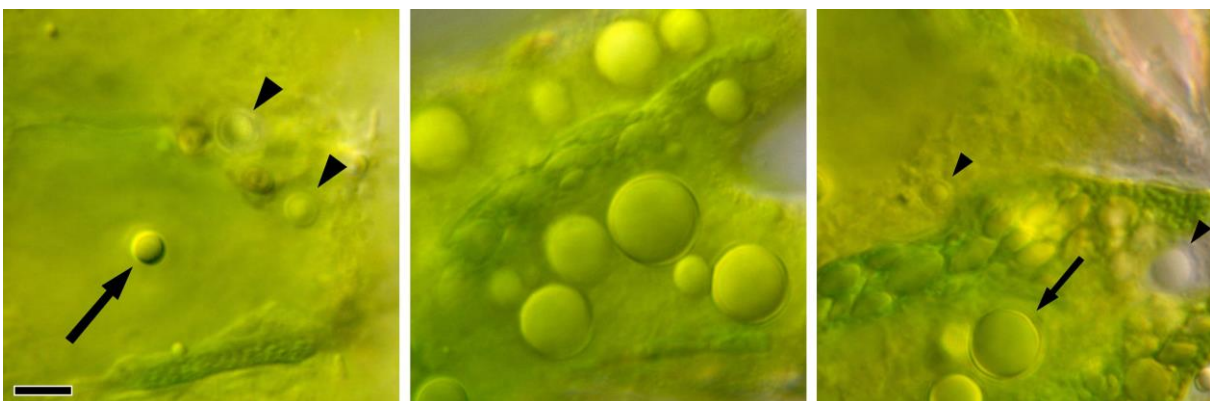


Abb. 6: *M. apiculata*. a: Partikel unsicherer Zuordnung. b und c: Dictyosomen und Partikel des anderen Typs versammeln sich in Kernnähe. Maßbalken 5 μm .

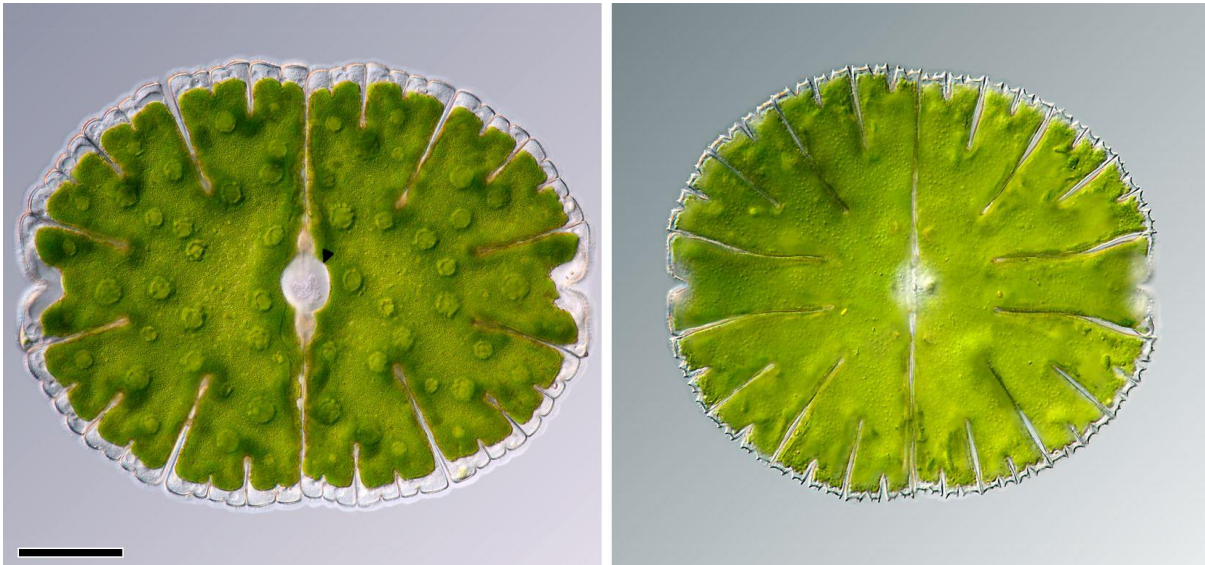


Abb. 7: *M. denticulata*. Synoptische Darstellung von Umriss, Chloroplasten mit Pyrenoiden zusammen mit dem Kern (Pfeilkopf). Stapel aus 20 Schichtaufnahmen. Maßbalken 50 μm .
 Abb. 8 *Micrasterias thomasiانا* var. *notata*. Umriss und Oberflächenstruktur. Stapel aus 35 Schichtaufnahmen.

Der andere Dictyosomentyp

Bei *Micrasterias denticulata* und *M. thomasiانا* var. *notata* (Abb. 7 und 8) gelang es mir außerdem, weitere, andersartige runde Körper mit einem Durchmesser von 2,5 und 5 μm zu finden und aufzunehmen. Sie oszillierten leicht und wurden auch manchmal eine kurze Strecke verlagert. Hin und wieder kippten sie und waren im Profil zu sehen. Oberfläche und Rand machten den Anschein, als seien sie genoppt (Abb. 9 und 10). Ich hatte Gelegenheit, diese Beobachtungen mit Prof. Dr. Werner Herth, Zellbiologe an der Universität Heidelberg, zu diskutieren. Er stellte fest, dass

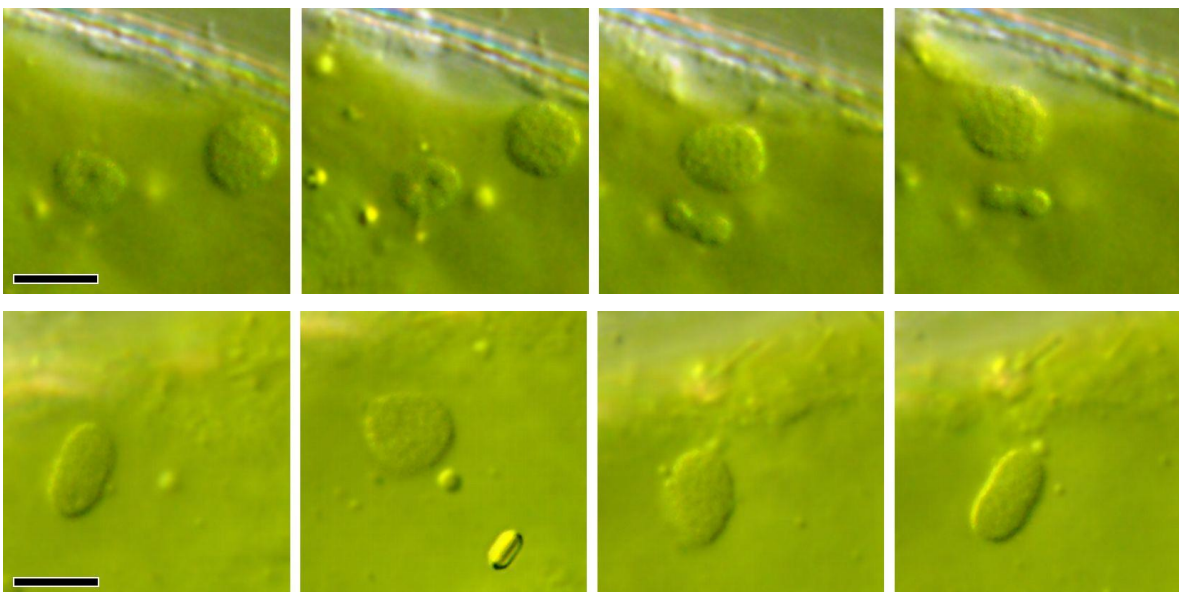


Abb. 9 und 10: Serienaufnahmen von Standard-Dictyosomen aus *M. denticulata* (9) und *M. thomasiانا* var. *notata* (10). Die typischen, in der Literatur immer wieder erwähnten Kippbewegungen sind erkennbar. Maßbalken 5 μm .

es sich hierbei mit großer Wahrscheinlichkeit um die Standard-Dictyosomen des Golgi-Apparats der untersuchten Algen handelte.

Resümee und Dank

Die großzelligen *Micrasterias*-Arten liefern interessante Einblicke in das Innere von Zellen und geben dem Hobby-Mikroskopiker die Gelegenheit, im Lichtmikroskop **und** in vivo Kleinstorganellen wie Mitochondrien und Dictyosomen zu beobachten. Folgende Geräte wurden verwendet: Stativ Zeiss Universal mit DIK-Einrichtung, Planapochromate 40/1,0 Öl und 63/1,4 Öl, Projektiv Mipro f = 63 mm (4x) und Photo-Okular S-KPL 10x sowie die digitale Kompaktkamera Olympus C7070.

Auf dem Weg von den ersten der oben geschilderten Entdeckungen bis zum fertigen Bericht gab es viele fruchtbare Diskussionen und eine Reihe gemeinsamer Beobachtungen mit Dr. Detlef Kramer, Cytologe an der TU Darmstadt und Moderator im Mikroskopieforum www.mikroskopie-forum.de, der zudem wertvolle Beiträge zu diesem Bericht beisteuerte. Ihm sei an erster Stelle gedankt. Er hat seinerseits mit seinen Fachkollegen Prof. Dr. Eberhard Schnepf und Prof. Dr. Werner Herth Rücksprache zum Thema gehalten. Für die übermittelten Hinweise, Anregungen und Korrekturen möchte ich ebenfalls Dank sagen. Des Weiteren geht ein herzlicher Dank an Prof. Rupert Lenzenweger für die Zusendung von Desmidiaceenproben, die anregenden Diskussionen zur Taxonomie und Ökologie der Desmidiaceen nebst großzügiger Unterstützung mit Fachliteratur und an Dr. Jens Hallfeldt für die Proben von *Micrasterias thomasiana* var. *notata*.

Zum Schluss noch ein Wort von Detlef Kramer: „*Die großen Micrasterias-Arten zeigen eine Reihe kleiner und kleinster Zellbestandteile im Lichtmikroskop in ungewöhnlicher Deutlichkeit, welche meist nur im Elektronenmikroskop klar dargestellt werden können. Es ist faszinierend, diese Beobachtungen an lebenden Organismen durchzuführen und dabei die charakteristische Dynamik zu erleben, was präparationsbedingt im Elektronenmikroskop nicht möglich ist. Und dies kann der ambitionierte Amateur mit einer Ausstattung ausführen, die heute auf dem Gebrauchtmart mit etwas Mühe zu einem Bruchteil des Neupreises erhältlich ist. Der differenzielle Interferenzkontrast nach Nomarski bietet Möglichkeiten, die in der Biowissenschaft immer mehr in Vergessenheit geraten. Es können damit Brücken geschlagen werden von der rein statischen Cytologie, die mit der Elektronenmikroskopie betrieben wird, hin*

zu einer faszinierenden lebendigen Betrachtung des Zellinnenlebens. Ich bin begeistert davon, nach 37 Jahren Arbeit am Elektronenmikroskop auf dieses Thema gestoßen worden zu sein!“

Autor: Wolfgang Bettighofer, Königeberger Straße 1, 24161 Altenholz,
E-Mail: wolfgang.bettighofer@gmx.de

Literaturhinweise

- Drawert, H., Mix, M.: Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen an Desmidiaceen. *Planta* 56, 237–261 (1961).
- Gunning, B. E. S., Steer, M. W.: Bildatlas zur Biologie der Pflanzenzelle, 3. Auflage. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1986.
- Herth, W.: Persönliche Mitteilungen, 2007. Prof. Dr. Werner Herth war damals Zellbiologe an der Universität Heidelberg.
- Kiermayer, O.: *Micrasterias denticulata* (Desmidiaceae) – Morphogenesis. Film E868 des IWF Göttingen (1965, Begleitpublikation 1966).
- Kiermayer, O.: Differenzierung und Wachstum von *Micrasterias denticulata*. (Conjugatae). Film C924 des IWF, Göttingen (1967, mit Begleitpublikation).
- Kiermayer, O.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen zum Problem der Cytomorphogenese von *Micrasterias denticulata* Breb. *Protoplasma* 69, 97–132 (1970).
- Linne von Berg, K.-H., Melkonian, M.: Der Kosmos-Algenführer. Kosmos Verlag, Stuttgart 2003.
- Kleinig, H., Maier, U.: Zellbiologie, 4. Auflage. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1999.
- Meindl, U., Lancelle, S., Hepler, P. K.: Vesicle production and fusion during lobe formation in *Micrasterias* visualized by high-pressure freeze fixation. *Protoplasma* 170, 104–114 (1992).
- Menge, U.: Ultracytochemische Untersuchungen an *Micrasterias denticulata* Breb. *Protoplasma* 88, 287–303 (1976).
- Menge, U., Kiermayer, O.: Dictyosomen von *Micrasterias denticulata* Breb. – ihre Größenveränderung während des Zellzyklus. *Protoplasma* 91, 115–123 (1977).

Noguchi, T.: Transformation of the Golgi Apparatus in the Cell Cycle, especially at the Resting and Earliest Developmental Stages of a Green Alga, *Micrasterias americana*. *Protoplasma* 95, 73–88 (1978).

Plattner, H., Hentschel, J.: *Zellbiologie*, 3. Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2006.

Staehein, L. A., Kiermayer, O.: Membrane differentiation in the Golgi complex of *Micrasterias denticulata* Breb. Visualized by freeze-etching. *J. Cell Sci.* 7, 787–792 (1970).

Steer, M. W.: Vesicle dynamics. In Robards, A. W. (ed): *Botanical Microscopy* 1985. Oxford University Press, 129–155 (1985).

Wenderoth, K. und Inst. Wiss. Film: Phototaxis bei Desmidiaceen und Diatomeen. Film C1496 des IWF, Göttingen 1983. Publikation von K. Wenderoth, *Publ. Wiss. Film, Sect. Biol., Ser. 17, Nr. 15/C1496* (1985), 15 S.