



Erschienen im MIKROKOSMOS 99, 141-149 (2010)

Mikroskopische Streifzüge auf Hiddensee III

Rotalgen-Aufwuchs

Der Aufwuchs auf Pflanzen, Mauern und Steinen unter Wasser ist ein mannigfaltiger Lebensraum für Einzeller und kleine Mehrzeller. Als bevorzugte Wuchsbasis für allerlei sessile Ciliaten und Diatomeen erwiesen sich Rotalgen der Ordnung Ceramiales. Unsere Fischzüge in den Seegraswiesen des Bodens sowie an Kaimauern und Pollern lieferten uns neben zweier Arten der Familie Ceramiaceae (*Ceramium diaphanum*, *C. tennicorne*) auch einen Büschel von *Polysiphonia fibrillosa*.

Nachdem im zweiten Hiddenseebericht Grundsätzliches zum Habitus der Ceramiaceae skizziert worden ist (Bettighofer, 2010), soll hier kurz die Gattung *Polysiphonia* vorgestellt werden. Sie gehört ebenfalls zur Gruppe der Ceramiales, wird aber in die Rhodomelaceae, einer Schwesterfamilie der Ceramiaceae, eingereiht. Der allseitig verzweigte, runde Thallus (Bezeichnung für die Sprossachsen der Algen) besteht aus Segmenten gleich hoher Zellen. Dabei ist jeweils eine Zentralzelle von einer für die betreffende Art charakteristische Anzahl von vier oder mehr gleich langen perizentralen Zellen umgeben (Abb. 1). *Polysiphonia* zeigt im Querschnitt einen Ring von sechs Perizentralzellen. Diese um die Zentralachse herum gelagerte Zellschicht kann man

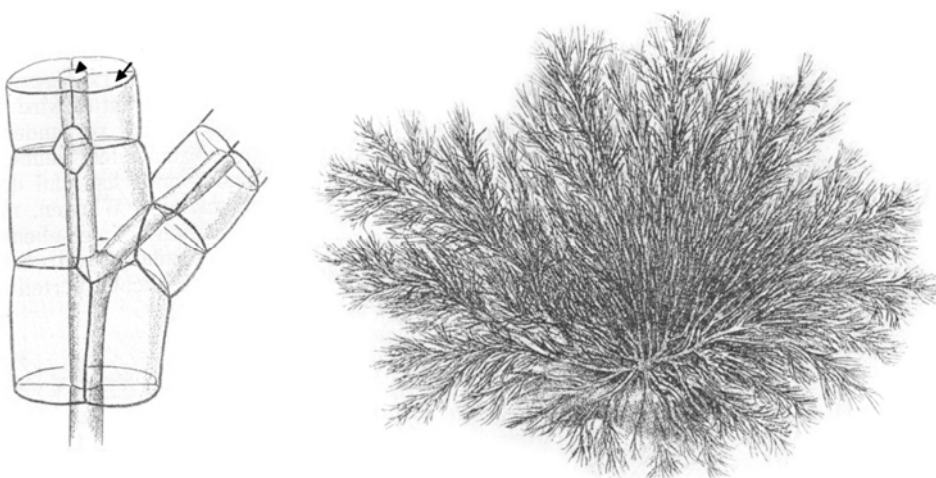


Abb. 1: Sprossteil einer *Polysiphonia* mit Zentralachse (Pfeilkopf) und den perizentralen Zellen (Pfeil). Rechts die Grafik eines Busches. Sie werden 10-20 cm hoch. Nach Oltmanns (1922).



Abb. 2: Vegetationskegel von *Polysiphonia fibrillosa* mit Haartrieben und Aufwuchs. 27 Ebenen. Maßbalken 50 µm.

als Röhre begreifen (Siphon). Der Name *Poly-siphonia* weist darauf hin, dass eine Anzahl von Arten mehrere perizentrale Zellschichten besitzen. An den Vegetationskegeln, den wachsenden Thallus-Spitzen, befinden sich farblose, monosiphone Haartriebe (Zellketten ohne Hülle aus Perizentralzellen), die

aber meist frühzeitig abgeworfen werden (Abb. 2).

Die Wände, durch welche die Scheitelzellen bei den Teilungen ihre Tochterzellen abgliedert, stehen vielfach schief zur Längsachse des Hauptsprosses, so dass die Segmente ungleichseitig werden. Die Abspaltung der Perizentralzellen beginnt erst nach einigen Zellenlängen Distanz zum Vegetationskegel. Die nachfolgend gebildeten Perizentralzellen werden dann abwechselnd rechts und links von der ersten abgegliedert, bis sie die Zentralachse umschließen.

Die höchste Populationsdichte des Aufwuchses fanden wir an den Spitzen der Zweige sowie an den Verzweigungen in den apikalen und subapikalen Regionen. Die Ciliaten waren grundsätzlich an den Thalluszellen angeheftet, während wir bei *Ceramium diaphanum* einzelne Diatomeen auch an dessen dicht stehenden



Abb. 3: *Ceramium tennicorne* ist Träger zahlreicher Aufwuchslebewesen, vor allem Ciliaten und Diatomeen. 3 Ebenen. Maßbalken 100 µm.



Abb. 4: : Aufwuchsgesellschaft auf *Ceramium diaphanum*. 33 Ebenen. Abb. 5 und 6 : *Achnanthes longipes*. 14 bzw. 9 Ebenen. Maßbalken 50 µm.

Fadenhaaren fixiert fanden. Neben *Cocconeis* stachen ausschließlich Formen mit Gallertstielen wie *Achnanthes* (Abb. 5 und 6), *Gomphonema*, *Licmophora* und *Rhoicosphenia* ins Auge. Abb. 3 zeigt deutlich, wie sehr die unmittelbare Umgebung der Vegetationskegel bevorzugt wird. Nur vereinzelt wurden bei *Ceramium diaphanum* Ciliaten-Aufwuchs nach der zweiten Gabelung (von den Vegetationskegeln her gesehen) vorgefunden. Die Populationsdichte illustriert auch die Abbildung 4. Um die peritrichen Ciliaten und die Diatomee *Achnanthes* hervorzuheben, ist bei dieser digitalen Zeichnung auf die Darstellung fast aller Fadenhaare verzichtet worden.

Gläserne Kunstwerke

Ceramium und *Polysiphonia* unterscheiden sich deutlich in der Wuchsform. *Ceramium* wächst viel dichter und geschlossener als *Polysiphonia*. Ich konnte beobachten, dass der von außen nach innen gerichtete Aufwuchsdichte-Gradient bei *Polysiphonia* deutlich geringer war als bei *Ceramium*, d. h. die Aufwuchsdichte vom Vegetations-

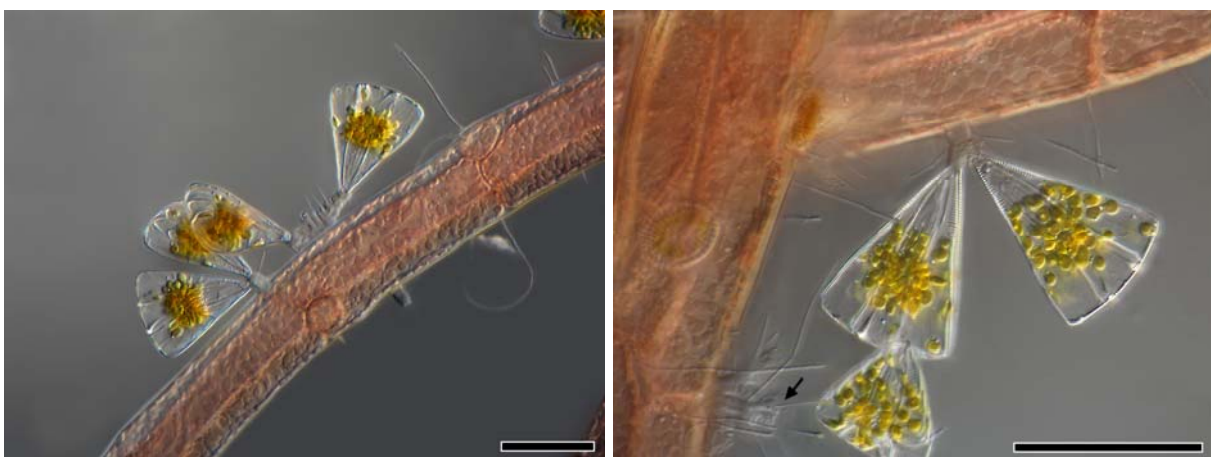


Abb. 7 und 8: *Licmophora juergensii* auf *Polysiphonia fibrillosa*. 28 bzw. 19 Ebenen. Links unten bei Abb. 8 ein verlassender Gallertstiel (Pfeil). Maßbalken 50 µm.



Abb. 9 und 10: *Rhoicosphenia abbreviata* und *Cocconeis placentula* auf *Polysiphonia fibrillosa*. 18 bzw. 19 Ebenen. Der bei Abb. 9 quer durch das Bild laufende Faden ist eine Cyanobakterienkolonie der Gattung *Pseudanabaena*. Maßbalken 10 µm.

kegel zur Mitte des Büschels nahm bei *Polysiphonia* wesentlich langsamer ab als bei *Ceramium*. Dies trat besonders deutlich bei *Ceramium diaphanum* mit seinem starken Besatz an Fadenhaaren im äußeren Bereich der Thalli hervor. Es hatte den Anschein, als behindere das dichte Sieb der Fadenhaare die Einwanderung bzw. den Verbleib von Epibionten.

Polysiphonia war stark mit der dekorativen Fächerdiatomee *Licmophora juergensii* (Abb. 7, 8 und 12), den im Streble/Krauter Algenläuse genannten *Cocconeis* (Abb. 9, 10 und 11) und der Keil-Kieselalge *Rhoicosphenia abbreviata* (Abb. 9 und 11) besetzt. Mit Ausnahme der *Cocconeis* sitzen diese alle auf Gallertstielen. Bei der Präparation hatten sich einige der Fächer von ihren Stielen gelöst. Abb. 8 zeigt einen verlassenen Stiel sowie rechts daneben eine Zelle, die sich während der Beobachtung deutlich sichtbar bewegte und vorläufig auf einer Schwesterzelle ihrer Art Halt gefunden



Abb. 11: *Rhoicosphenia abbreviata* zusammen mit einer Reihe von Blaualgenfäden der festsitzenden Oscillatoriales (*Pseudanabaena*, *Homeothrix*). Maßbalken 10 µm.



Abb. 12: *Licmophora juergensii* in Valvar- und Gürtelbandansicht. Maßbalken 50 µm.

hatte. Dies zeigte in eindrucksvoller Weise, dass auch die stationären, von den Taxonomen in der Unterordnung Araphidineae (die Nahtlosen, keine Raphe besitzenden) geführten Kieselalgen durchaus beweglich sind und demnach ebenfalls ein Bewegungsorganell besitzen. Abb. 12 zeigt in der linken Bildhälfte eine Fächeralgenzelle von ihrer schmalen Seite (Valvaransicht) auf einem Gallertstiel üblicher Größe. Daneben befindet sich eine Zelle in Gürtelband- oder Cingularansicht. Deren sehr schwach ausgebildeter Gallertstiel deutet darauf hin, dass sich die Zelle erst kurz vor den Aufnahmen an dieser Stelle am Algenfaden festgesetzt hat. Die *Polysiphonia*-Sprosse waren teilweise stark mit fädigen Blaualgenkolonien der Ordnung Oscillatoriales besetzt. *Pseudanabaena* war fast überall zu sehen, an einigen Stellen fanden sich auch die deutlich stärkeren Fäden von *Homeothrix* (Abb. 11).

Leben im Sektkelch

Ciliaten der Gattung *Cothurnia* (Pokaltierchen) leben in zarten chitinösen Bechern ohne Deckel. Eigentlich ist es bei dieser Gattung üblich, dass die Becher von je einem Individuum bewohnt werden. Die linke, kontrahierte Zelle in Abb. 13 ist nur unvollständig am Gehäuseboden fixiert. Dies könnte darauf hindeuten, dass kurz vor den Aufnahmen eine Teilung stattgefunden hat, der Schwärmer sich aber noch nicht ganz abgelöst und die Lorica noch nicht verlassen hat. Bei Abb. 14 sieht man links neben dem Stiel eines Glockentierchens am *Ceramium*-Ast den Ansatz eines sich neu bildenden Fadenhaares (Pfeilkopf). Die Dichte des Besatzes mit Fadenhaaren illustriert Abb. 17 eindrucksvoll. Sie wachsen bei Ceramiaceae grundsätzlich aus den



Abb. 13: *Cothurnia*. 4 Ebenen. Maßbalken 50 µm.



Abb. 14: *Cothurnia*. 8 Ebenen. Maßbalken 50 µm.



Abb.15: *Vorticella* mit *Achnanthes longipes*. 27 Ebenen. Maßbalken 50 µm.



Abb. 16: *Zoothamnium* mit *Licmophora juergensii*. 17 Ebenen. Maßbalken 50 µm.

randständigen Rindenzellen. Die Botaniker beschreiben sie als „hinfällig“. Sie brechen im Zuge der Alterung der Rindenzellen ab und werden deshalb nur in der Nähe des Vegetationskegels vorgefunden. Neben den Pokaltierchen und *Zoothamnium*-Kolonien, den sogenannten Strauchtierchen mit nicht-kontraktilen Stielen (Abb. 16), befanden sich viele Individuen der Gattung *Vorticella* im Aufwuchs (Abb. 15, 17, 18). Die Zelle in Abb. 18 zeigt ihren länglichen Makronucleus sowie das kabelförmige Spasmonem, ein Bündel aus Mikrofilamenten, gewissermaßen der „Muskel“ im Stiel. Die feinen Pünktchen auf dem Spasmonem sind Mitochondrien (siehe Einsatzbild),

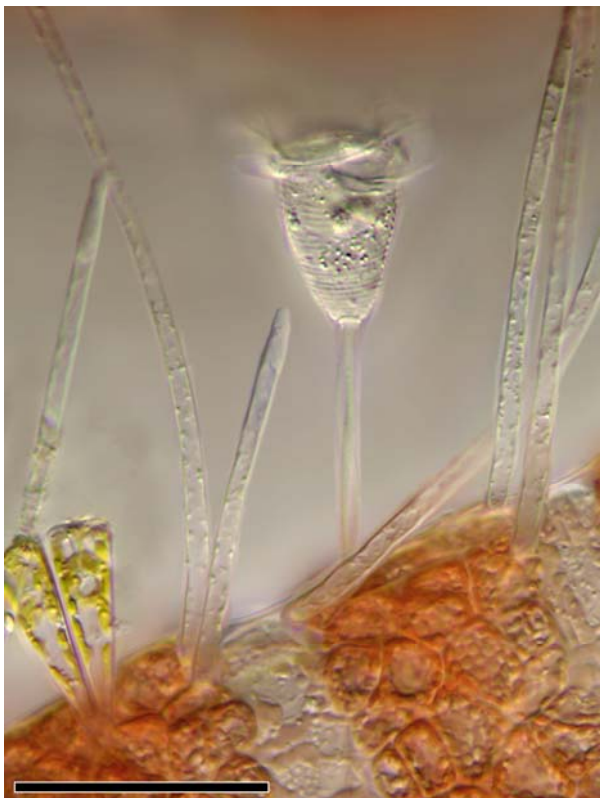


Abb.17: *Vorticella*. 12 Ebenen. Maßbalken 50 µm.



Abb. 18: *Vorticella*. 13 Ebenen. Maßbalken 50 µm.

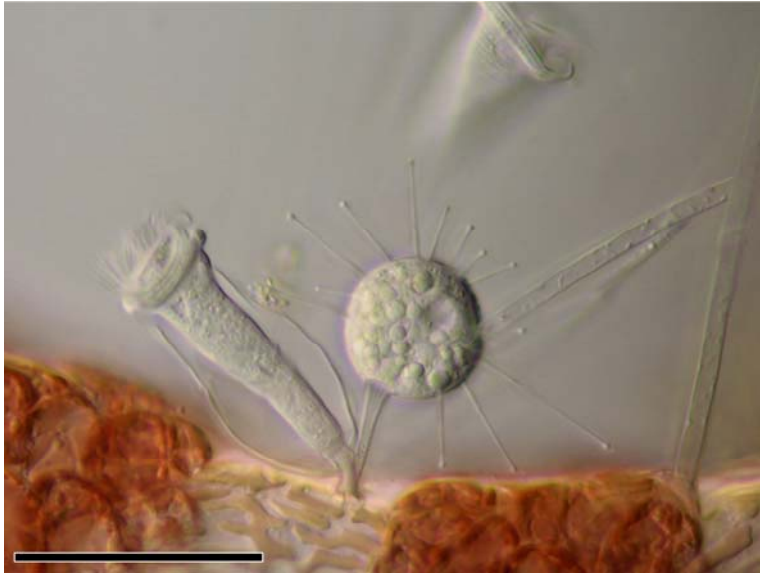


Abb. 19: *Podophrya* spec. mit *Cothurnia* spec. 5 Ebenen
Maßbalken 50 µm.



Abb. 20: *Podophrya* spec. 6 Ebenen.
Maßbalken 50 µm.

welche die Energie für die blitzschnellen Kontraktionen bereitstellen, zu denen die Stiele der Vorticellen in der Lage sind. Gegenüberliegend zum Spasmonem verläuft im Stielmantel ein Band von Versteifungsstäben (beim Pfeilkopf), welches als passiver Antagonist den Stiel streckt. Das Band ist lichtmikroskopisch nicht darstellbar.

Suktorien mit Ähnlichkeit zu *Podophrya*

Suktorien oder Sauginfusorien sind eine Unterklasse der Ciliaten, bei denen nur die Fortpflanzungsstadien bewimpert sind. Die Art, die wir auf den Ästchen von *Ceramium diaphanum* vorfanden, passt zu Beschreibungen von Mitgliedern der Gattung *Podophrya* (Streble/Krauter 2006; Foissner 1995), wobei in den zitierten Bestimmungswerken ausschließlich Süßwasserformen behandelt werden.

In Abb. 19 sieht man direkt neben einem Suktor eine *Cothurnia*, die offensichtlich nicht zu den Beuteorganismen gehört. Auch Glockentierchen, welche dicht neben den Suktorien wurzelten, wurden nicht behelligt. Alle Suktorien



Abb. 21: Aufwuchsgesellschaft auf der Rotalge *Ceramium* mit *Podophrya* und gefangener *Trichodina*. 6 Ebenen.
Maßbalken 50 µm.

zeigten durch die große Anzahl von Nahrungsvakuolen in ihrem Plasma, dass sie gut im Futter standen.

Wie isst man ohne Mund?

Suktorien besitzen keine Mundöffnung. Stattdessen haben sie Tentakel, die an ihrer Spitze besondere, als Haptocysten bezeichnete Organellen, besitzen. Diese entladen sich bei Berührung durch Beuteorganismen (zumeist Ciliaten), dringen durch deren verstärkte Zellhülle (Pellicula) und halten sie fest. Es kommt dann ein Prozess in Gang, bei welchem das Protoplasma der Beute durch die Tentakel transportiert, an deren Ende in Nahrungsvakuolen verpackt und aufgenommen wird. Bei manchen Arten ist dabei ein zweiter Tentakeltyp beteiligt, welcher auf den Plasmatransport spezialisiert ist, während ersterer lediglich die Aufgabe hat die Beute festzuhalten.

Obwohl die Bezeichnung Suktor „Sauginfusor“ bedeutet, erzeugt diese Organismengruppe keinen Unterdruck, um sich Beuteplasma einzuverleiben. Modellvorstellungen zum vermeintlichen Saugvorgang gehen bis ins späte 19. Jahrhundert zurück (Hertwig 1876, Maupas 1881). Hull hatte 1961 durch grundsätzliche Überlegungen zum laminaren Durchfluss in Röhren und gestützt durch eine lichtmikroskopisch überwachte Versuchsreihe an *Podophrya collini* und dem Futterorganismus *Tetrahymena pyriformis* berechnet, dass der vom Suktor bei der Nahrungsaufnahme (Ingestion) zu erzeugende Unterdruck bei maximal 0,2 Atmosphären liegen müsste.

Demgegenüber ergaben Ultrastrukturuntersuchungen mit dem Transmissions-Elektronenmikroskop in den späteren 1960er Jahren, dass es sich beim Ingestionskanal in den Futterplasma transportierenden Tentakeln der Suktorien nicht um solide Röhrenstrukturen handelt, sondern dass eine Anzahl von Microtubuli (einzeln und gebündelt) die röhrenförmige Plasmamembranstruktur im Zentrum der Tentakel lediglich begleiten. Im Ruhezustand zeigen die Tentakel überhaupt keine Röhrenstruktur in ihrem Inneren. Details dazu siehe Rudzinska (1965) sowie Bardele und Grell (1967). Somit war klar, dass die Hull'sche Modellvorstellung des laminaren Durchflusses in soliden Röhren nicht anwendbar war.

Anfang der 1970er Jahre klärte sich die Angelegenheit, woran Prof. Bardele von der Universität Tübingen einen großen Anteil hatte (Bardele 1972). Es stellte sich heraus, dass ein speziell konstruierter Microtubuli-Apparat, welcher trichterförmig ausstülpbar ist, die Verankerung im Futterorganismus bewirkt, nachdem der fixierende Kontakt durch Haptozysten genannte Organellen (H in Abb. 22) im endständigen Tentakelknopf hergestellt worden ist. Den Transportmotor für die Aufnahme des Futterplas-

mas durch die Plasmamembranröhre stellen frei ins Röhrenlumen ragende Dyneinarme dar, die auf dem oberen Teil der, den Ingestionskanal begleitenden, Microtubulibänder sitzen. Koordiniert docken sie an die Plasmamembran an, schwenken nach unten in Richtung Zellmitte, lösen sich wieder von der Membran und schwenken nach oben. So ziehen sie Schritt für Schritt die Plasmamembran zusammen mit dem Futterplasma in den Suctor. Am inneren Ende der Ingestionsröhre (iR in Abb. 22) werden die Nahrungsvakuolen abgeschnürt. Dyneinarme sind auch maßgeblich beim Geißel- und Cilienschlag der Eucaryoten beteiligt.

Ein Strom von sogenannten osmophilen Granula (OG in Abb. 22), welche Plasmamaterial beinhalten, fließt in der äußeren Röhre (äR in Abb. 22) des Tentakels an die Spitze des Ingestionskanals und sorgt für Nachschub an Plasmamembran-Material. Der Strom dieser Körperchen wurde übrigens schon sehr früh bei lichtmikroskopischen Untersuchungen entdeckt.

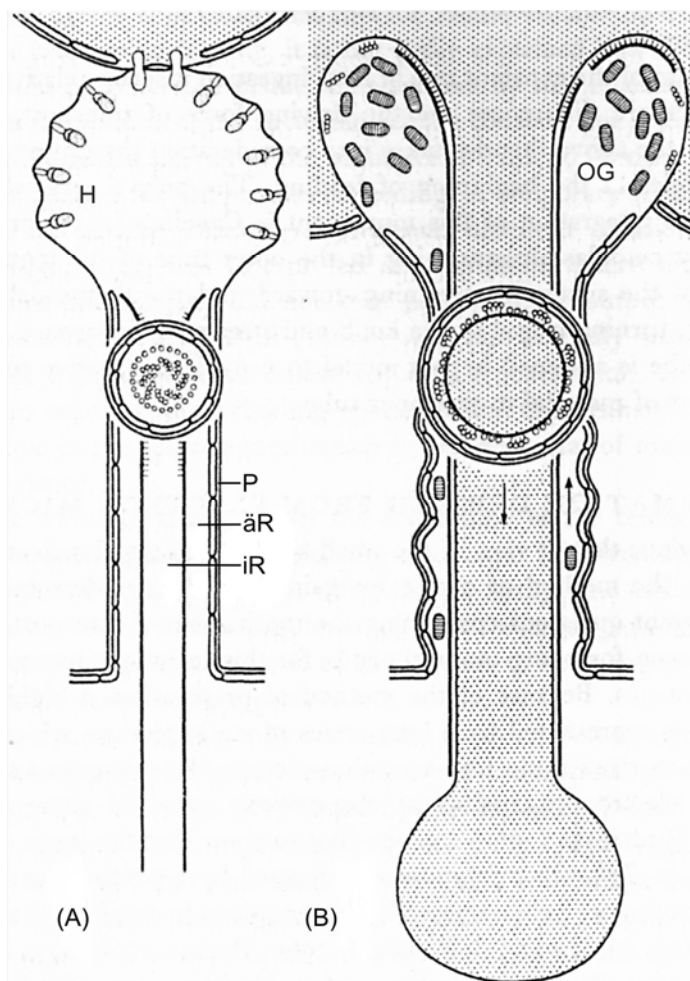


Abb.22: Schematische Darstellung eines Längsschnitts durch einen Suctor-Tentakel im Ruhezustand (A) und während des Transports von Futterplasma (B). H = Haptocysten, P = Pellicula; äR = äußere Röhre, iR = innere Röhre, OG = osmiophile Granula. Die Pfeile bei (B) zeigen die Flussrichtung von Futter-Plasma (in der iR) und der osmiophilen Granula (in der äR). Nach Bardele (1972).

***Trichodina* als Beute**

Im Präparat bewegten sich eine größere Anzahl von *Trichodina*-Schwärmern (Polypenläuse). Diese schienen die bevorzugte Beute der Suktorien zu sein. Jedenfalls sah ich im Präparat an vielen Stellen ausschließlich die in den Abbildungen 21 und 23 bis 26 gezeigten Jäger-Beute-Situationen. In keinem Fall wurde ein anderer Aufwuchsciliat behelligt. Auch die *Vorticella* (Abb. 23-26), welche in unmittelbaren Nähe der *Podophrya* an den *Ceramium*-Zweig angeheftet war, war lediglich durch die Enge unter dem Deckglas „verstimmt“.

Die Abbildungen 23 bis 26 zeigen in zeitlicher Abfolge die Ingestion des Beuteplasmas (Phasen I bis III). Der Vorgang wurde von mir insgesamt 2 Stunden beobachtet, die Fotos zu Abb. 24 entstanden ziemlich genau in der Mitte der Beobachtungszeit. Es war interessant zu sehen, wie die *Trichodina* mit der Zeit nicht etwa kleiner, sondern deutlich größer wurde. Der Grunde lag in einer sich ins Riesenhafte vergrößernden Vakuole, die (insbesondere bei Abb. 26 gut sichtbar) schließlich fast das gesamte Lumen des Beuteorganismus einnahm.

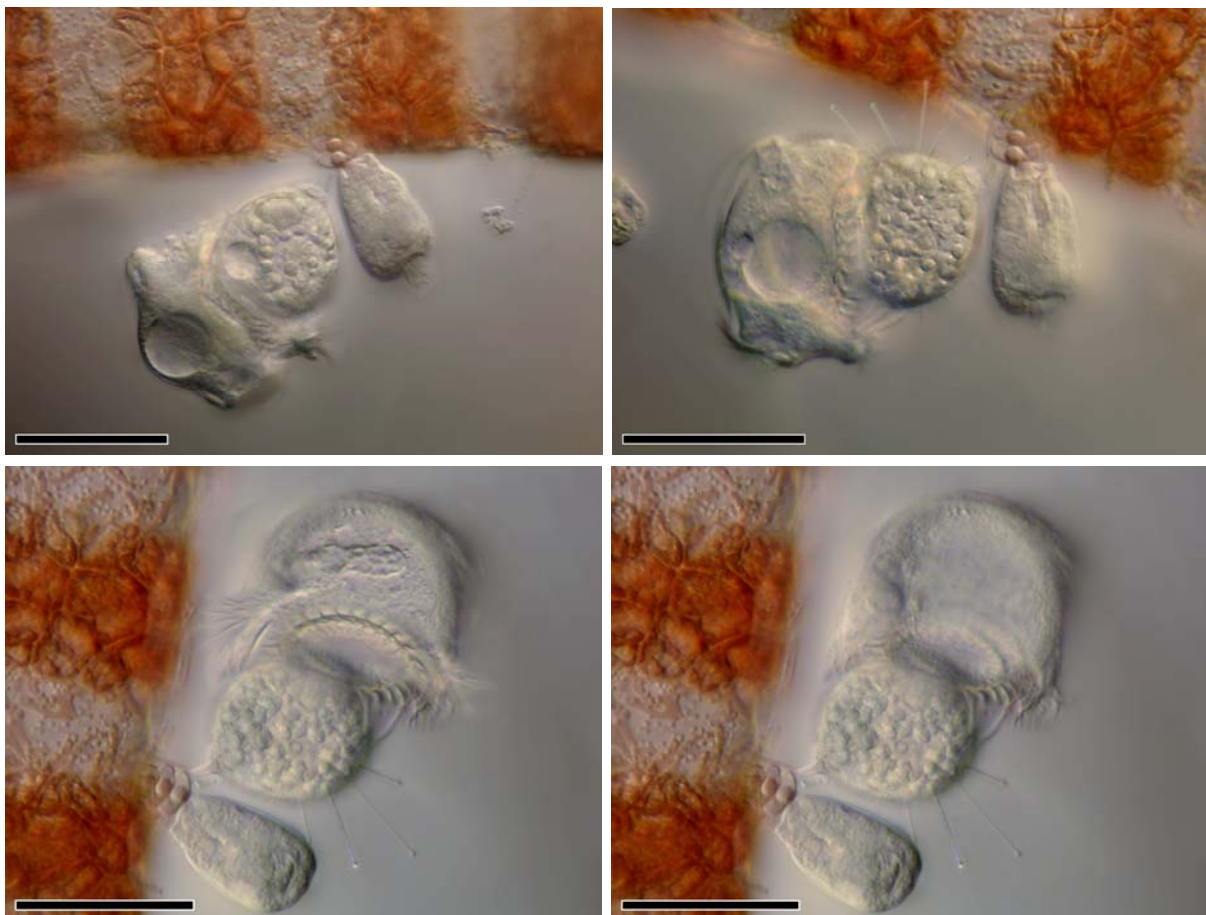


Abb. 23: *Trichodina* an Suctor (I). 6 Ebenen. Abb 24: *Trichodina* an Suctor (II: 60 Minuten später). 11 Ebenen. Abb. 25: *Trichodina* an Suctor (III: 120 Minuten später). Oberflächendarstellung. 9 Ebenen. Abb. 26: *Trichodina* an Suctor (III). Optischer Schnitt durch die riesenhafte angewachsene Vakuole. 9 Ebenen. Maßbalken 50 μ m.

An der Ausschnittsvergrößerung in Abb. 27 ist deutlich erkennbar, dass diejenigen Tentakel, welche den Kontakt zum Futterorganismus herstellen und für den Plasmatransport sorgen, gegenüber den am Beutefang unbeteiligten Tentakeln deutlich verdickt sind.

Fazit

Rotalgen der Ordnung Ceramiales stellen für peritriche Ciliaten und aufwachsende Diatomeen ein belebtes Habitat dar, welches dem Hobbymikroskopiker viel Gelegenheit zu interessanten Beobachtungen gibt. Zudem zeigte es sich, dass die Rotalgenproben, so sie in viel Wasser aufbewahrt und kühl (um 10°C) gehalten werden, zumindest eine Woche gut überstehen, sodass einem erfolgreichen Algentransport am Urlaubende ins heimische Labor nichts im Wege steht.



Abb. 27: *Trichodina an Suctor* (III). Ausschnitt.
Maßbalken 10 µm.

Autor: Wolfgang Bettighofer, Rutkamp 64, D-24111 Kiel,
email: wolfgang.bettighofer@gmx.de

Literatur

- Bardele, C. F.: A microtubule model for ingestion and transport in the Suctorian tentacle. *Z. Zellforsch.* 126, 116-134 (1972).
- Bardele, C. F., Grell, K. G.: Elektronenmikroskopische Beobachtungen zur Nahrungsaufnahme bei dem Suctor *Acineta toberosa* Ehrenberg. *Zeitschr. f. Zellf.* 80, 108-123 (1967).
- Bettighofer, W: Mikroskopische Streifzüge auf Hiddensee – Teil 2: Die Rotalge *Ceramium*. *Milrokosmos* 99, 14-17 (2010).
- Foissner, W., Berger, H., Blatterer, H., Kohmann, F.: Taxonomische und ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems – Band IV: Gymnostomatea, Loxodes, Suctoria. *Informationsberichte des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft*, Heft 1/95, 540 pp. München 1995.
- Grell, K. G.: Protozoologie, 2. Auflage. Springer-Verlag, Berlin 1968.
- Hausmann, K., Hülsmann, N., Radek, R.: *Protistology*, 3rd ed. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 2003.
- Hertwig, R.: Über *Podophrya gemmipara* nebst Bemerkungen zum Bau und zur systematischen Stellung der Acineten. *Morphol. Jahrb.* 1, 20-82 (1876).
- Hull, R. W.: Studies on suctorian protozoa: The mechanism of ingestion of prey cytoplasm. *J. Protozool.* 8, 351-359 (1961).
- Lee, J., Leedale, G., Bradbury, P. (eds.): *The illustrated guide to the protozoa*, 2nd edition. Society of Protozoologists, Lawrence (Ka.) 2000.
- Matthes, D.: Suctorien. In: Röttger, R. (Hrsg.): *Praktikum der Protozoologie*, S. 194-199. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1995.
- Maupas, E.: Contribution a l'étude des Acinetes. *Arch. Zool. Exper. et Gen.* 9, 299-368 (1881).
- Oltmanns, F.: *Morphologie und Biologie der Algen*. Verlag Gustav Fischer, Jena 1922.
- Röttger, R.: *Wörterbuch der Protozoologie*. Shaker Verlag, Aachen 2003.
- Rudzinska, M. A.: The fine structure and function of the tentacle in *Tokophrya infusorium*. *J. Cell Biol.* 25, 459-477 (1965).
- Streble, H., Krauter, D.: *Das Leben im Wassertropfen*, 10. Auflage. Franckh-Kosmos Verlag, Stuttgart 2006.