

Praktikum der Protozoologie

Herausgegeben von
Rudolf Röttger

462 Abbildungen

FOISSNER, W. (1995): Ciliaten des Bodens. In: RÖTTGER, R. (ed.),
Praktikum der Protozoologie, pp.176-185. G.Fischer, Stuttgart,
Jena, New York



Gustav Fischer Verlag
Stuttgart · Jena · New York · 1995

Ciliaten des Bodens

(W. Foissner, Salzburg)

Einführung

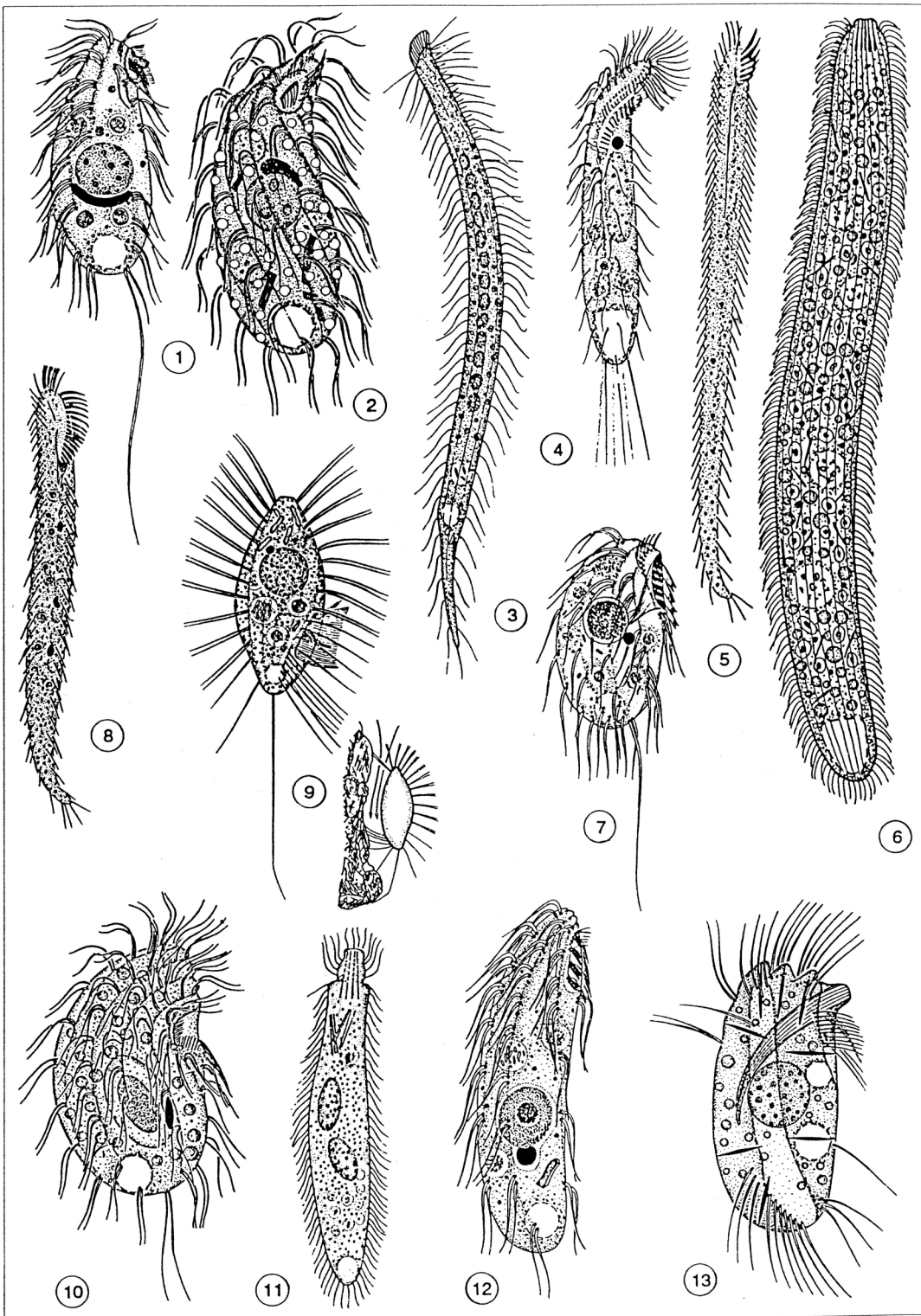
Von den etwa 8000 bekannten Ciliaten-Arten leben ungefähr 400 im Boden. Tatsächlich sind es aber mehr, da ständig neue entdeckt werden. Die alte Auffassung, daß im Boden die gleichen Arten wie im Süßwasser vorkommen, gilt als überholt. Die Untersuchungen der letzten 15 Jahre haben nämlich gezeigt, daß mehr als die Hälfte der genauer studierten Arten autochthon ist, d. h. nur oder doch bevorzugt in edaphischen Biotopen lebt. Ein besonders charakteristischer Bestandteil der terricolen Ciliatenfauna sind die obligat mycophagen (pilzfressenden) Arten, die das reichliche Angebot an Bodenpilzen abschöpfen. Obwohl sie kosmopolitisch verbreitet und sehr häufig sind, wurden sie erst im Jahr 1980 entdeckt; frühere Untersucher verwechselten sie offensichtlich mit limnischen Arten aus anderen Ordnungen.

Um die Ressourcen des Lebensraumes Boden optimal nutzen zu können, besitzen die Ciliaten bemerkenswerte morphologische und physiologische Anpassungen, die einführend etwas breiter dargestellt werden, da sie wichtige ökologische Prinzipien exemplarisch demonstrieren. Die morphologischen Besonderheiten sind sehr wahrscheinlich verursacht vom Raum-mangel in den engen Bodenporen und der filmartigen Verteilung des Wassers in den Poren und auf den Bodenkrümeln. Bodenciliaten sind daher meist klein, ihre Länge, **Breite**

und Biomasse sind deutlich geringer als bei limnischen Ciliaten. Die Verkleinerung wird erreicht entweder durch eine Verringerung der Größe (Abb. 1, 2, 7, 9, 10, 12, 13) oder durch eine Verminderung der Körperbreite, woraus sich die oft wurmförmige Gestalt der Bodenciliaten erklärt (Abb. 3-6, 8, 11). Viele Arten sind deutlich abgeflacht und nur auf einer Seite stärker bewimpert, so daß sie in Wasserfilmen gleiten können (Abb. 1, 10, 12, 13, 22, 23, 30-32). Die meisten Bodenciliaten sind vagil. Die im limnischen Lebensraum so verbreiteten Suktorien und Peritrichen fehlen fast ganz. Die Fähigkeit zur Ortsbewegung ist notwendig, da sich die Nahrung in den engen Bodenporen schnell erschöpft.

Die physiologischen Besonderheiten sind vor allem Anpassungen an die wechselnde Bodenfeuchte (die meisten Böden trocknen von Zeit zu Zeit fast oder ganz aus) und das besondere Nahrungsangebot, z. B. die vielen Pilze, die von den mycophagen Ciliaten genutzt werden (siehe *Grossglockneria acuta*). Die trockenen «Schlechtwetterperioden» überdauern alle Bodenprotozoen in Cysten (Encystierung). Die Zelle umgibt sich dabei mit einer dicken, weitgehend wasserundurchlässigen Hülle und reduziert den Stoffwechsel auf ein Minimum (Abb. 18). Sobald die äußeren Bedingungen wieder günstig sind, verläßt sie die Cyste wieder (Excystierung). Es ist einsichtig, daß dabei solche Arten im Vorteil sind, die eine weite ökologische Valenz und

Abb. 1-13: geringe Größe oder wurmförmige Gestalt als Anpassung an den Lebensraum Boden. **1:** *Pseudoplatyophrya nana* (20 µm), colpodid, abgeflacht, mycophag. **2:** *Trihymena terricola* (30 µm), colpodid, frißt Bakterien. **3:** *Protospathidium bonneti* (125 µm), holotricher Räuber. **4:** *Metopus hasei* (90 µm), spirotrich, kommt in sauerstoffarmen Böden vor, frißt Bakterien. **5:** *Hemisincirra filiformis* (210 µm), hypotrich, besonders schlank, frißt Bakterien. **6:** *Enchelyodon terrenus* (300 µm), ungewöhnlich großer, holotricher Räuber. **7:** *Microdiaphanosoma arcuata* (20 µm), colpodid, abgeflacht, frißt Bakterien. **8:** *Engelmanniella mobilis* (220 µm), hypotrich, schlank, frißt Bakterien. **9:** *Homalogastra setosa* (30 µm), hymenostom. Rechts ein auf Bodenkrümeln sitzendes und Bakterien einstrudelndes Exemplar. **10:** *Colpoda steinii* (40 µm) (vgl. Abb. 20). **11:** *Phialina binucleata* (100 µm), holotricher Räuber. **12:** *Pseudocryptolophosis alpestris* (25 µm), colpodid, abgeflacht, frißt Bakterien. **13:** *Stammeridium kahli* (20 µm), microthoracid, stark abgeflacht, frißt Bakterien.



eine hohe Reproduktionsrate besitzen. Solche r-(«reproductive») Strategen sind die unten beschriebenen colpodiden Ciliaten. Einige von ihnen sind so genügsam und teilen sich so rasch, daß sie die nächtlichen Tautropfen auf den Gräsern und Bäumen und die oft nur wenige Stunden dauernden Tauperioden in den antarktischen Böden nutzen können.

Diese extremen r-Strategen nennt man heute auch a-(«adversity») selektioniert.

Tabelle 1.: Anzahl der aktiven Ciliaten (per g Trockenmasse Boden) in verschiedenen Böden

Biotop	frischer Boden	getrockneter, wiederbe-feuchteter Boden
Acker	1	379
Wiese	3	520
Nadelstreu	468	17390
Laubstreu	3326	104340
Nadelstreu		
O _L 0-1 cm	350	nicht untersucht
O _L 1-3 cm	109	nicht untersucht
O _F 3-9 cm	14	nicht untersucht

Neuere Untersuchungen belegen, daß größere Mengen aktiver Ciliaten nur in Rohböden, besonders in der frischen Streu vorkommen, weshalb die Ciliaten Pioniere bei der Bodenbildung sind. Die Vertikalverteilung zeigt daher einen starken Knick (Tabelle 1): die

Abundanz sinkt in der Fermentationsschicht (= eigentliche Zersetzungszone, 3-9 cm) fast übergangslos auf Null. Diese Erscheinung wird «Ciliatostasis» genannt.

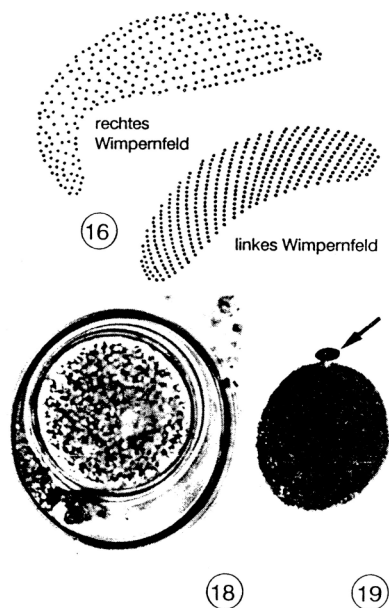
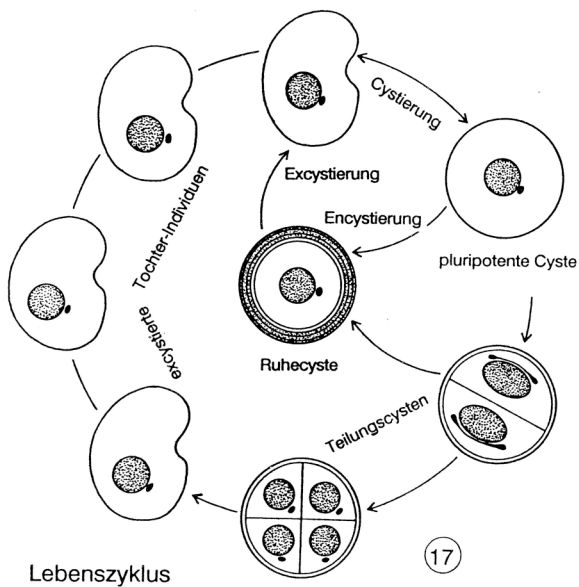
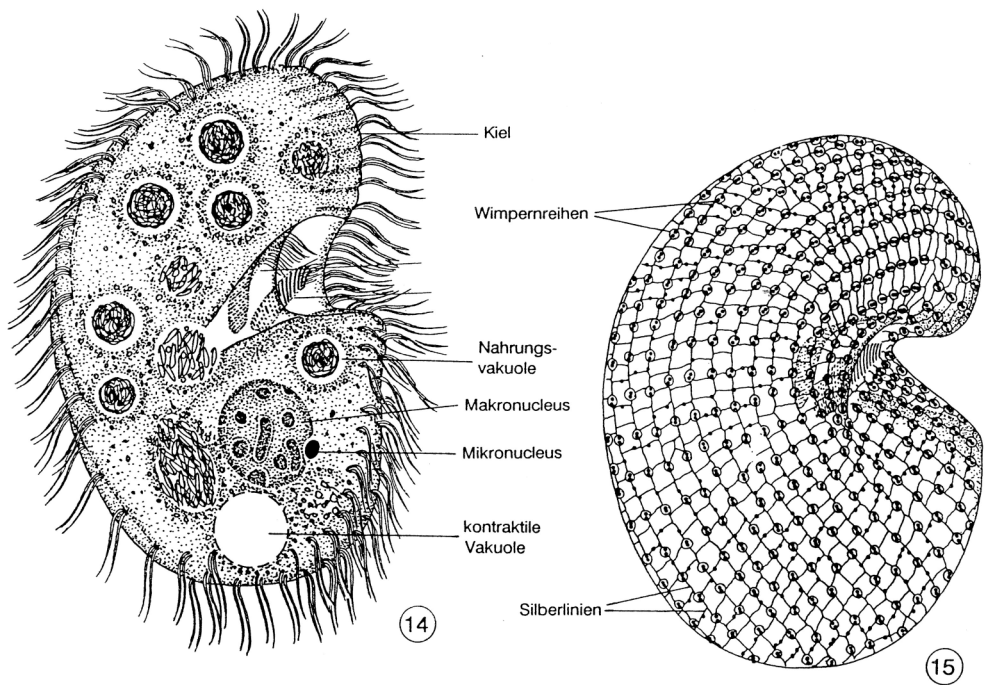
Man vermutet, daß sich in entwickelten («älteren») Böden Hemmstoffe anreichern, die die Excystierung und Reproduktion der Ciliaten behindern, so wie das z. B. auch für Pilze beschrieben worden ist (Fungistasis). Diese Hemmung kann durch bestimmte Kunstgriffe mehr oder weniger beseitigt werden, zum Beispiel indem man den Boden trocknet. Nach Wiederbefeuchtung kommt es, zumindest im Labor, zu einem explosionsartigen Auftreten und zu einer starken Vermehrung der Ciliaten, da viele jahrelang encystiert gewesene Zellen excystieren (siehe die ersten vier Biotope in Tabelle 1). Dies wird bei der im folgenden beschriebenen Methode zur Materialbeschaffung ausgenutzt.

Technische Vorbereitungen

Bodenciliaten können 24-48 Stunden nach einem ausgiebigen Regen direkt gesammelt werden, indem man die feuchte Laub- oder Nadelstreu mit etwas Regenwasser wäscht, die Suspension im Mikroskop durchmustert und einzelne Individuen mit der Mikropipette herausnimmt. Die Untersuchung frischer Streu ist besonders für die einführende Demonstration zu empfehlen; es ist immer wieder beeindruckend, wie reich die Waldstreu mit Protozoen und kleinen Metazoen besiedelt ist.

Für Praktikumszwecke hat sich die Materialbeschaffung aus wassergesättigten Bodenkulturen mit der sogenannten «non-flooded petri dish method» sehr bewährt. Diese Technik nutzt die oben beschriebene Abschwächung

Abb. 14-19. *Colpoda cucullus*. 14: rechte Körperseite in vivo, 55 µm. 15: Infraciliatur (Basalkörper der Wimpern) und Silberliniensystem (die die Basalkörper verbindenden silberfreundlichen Linien, vermutlich Fibrillen) der rechten Seite nach nasser Silbernitratimprägnation, 55 µm. 16: orale Wimpernfelder nach Silberkarbonatimprägnation. 17: Lebenszyklus. 18: Ruhecyste in vivo, 50 µm. Die kompakte zentrale Masse ist der Zellinhalt. Die Cysten-Hülle besteht aus mehreren scharf konturierten Schichten. 19: Kernapparat nach Silberkarbonatimprägnation. Der Pfeil weist auf den 3 x 2 µm großen Mikronucleus.



Colpoda cucullus

der Ciliatostasis aus, ist einfach durchzuführen und liefert immer verlässliches Material. 10-50 g luftgetrocknete Streu oder Mineralboden, der reichlich Wurzeln enthalten soll, werden in etwa 2 cm dicker Schicht in eine Petrischale von 15 cm Durchmesser gegeben. Der Boden wird dann mit destilliertem Wasser leicht übersättigt, darf aber nicht so wie bei einem Aufguß überflutet werden (Übersättigung ist dann erreicht, wenn beim Kippen der Petrischale etwa 10-20 ml Wasser abfließen). Der Boden benötigt mehrere Stunden, um das Wasser vollständig aufzunehmen, daher sollte der Ansatz nach etwa 12 Stunden geprüft werden, um dann vielleicht weiteres Wasser hinzuzugeben. Der Kulturansatz wird mit dem Deckel der Petrischale nur teilweise verschlossen (indem man eine Büroklammer zwischen Boden und Deckel klemmt), damit der Gasaustausch gesichert ist. Nach 3-6 Tagen hat sich eine reiche Protozoenfauna entwickelt, die einfach zu sammeln ist: man kippt die Petrischale um etwa 45° und entnimmt die aus dem Boden absickernde klare Flüssigkeit (= Bodenlösung) mit einer Pipette; sie enthält immer viele Protozoen. So angesetzte Proben sind 3-5 Wochen zu verwenden, wenn das entnommene oder verdunstete Wasser ergänzt wird.

Aus der abgegossenen Bodenlösung können die interessierenden Arten unter dem Mikroskop (größere Arten unter der Stereolupe) mit einer Mikropipette entnommen werden. Man setzt den Wassertropfen auf einen Objektträger und bedeckt ihn mit einem Deckgläschen mit Plastilinfüßchen, deren Höhe der Dicke der Ciliaten angemessen ist. Für die meisten Silberimprägnationsverfahren benötigt man viel Material, d. h. etwa 10-20 ml der dekantierten

Bodenlösung. Sie wird ohne vorhergehende Zentrifugation direkt in das Fixans gegossen.

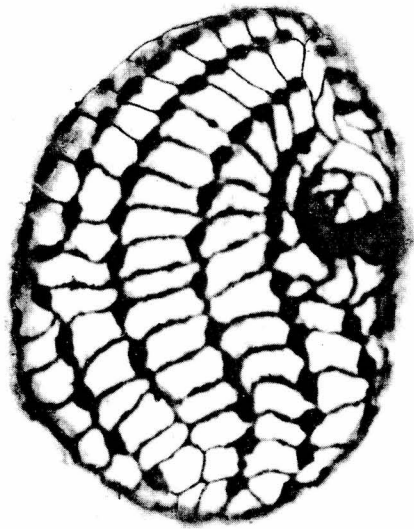
Zum genaueren Studium und zur Bestimmung der Ciliaten sind Silberimprägnationsverfahren und entsprechende Spezialliteratur unabdingbar. Die wichtigsten dieser Methoden sind auf S. 157-166 und auf S. 174 beschrieben.

Die Kultur einzelner Arten wird im nächsten Abschnitt behandelt.

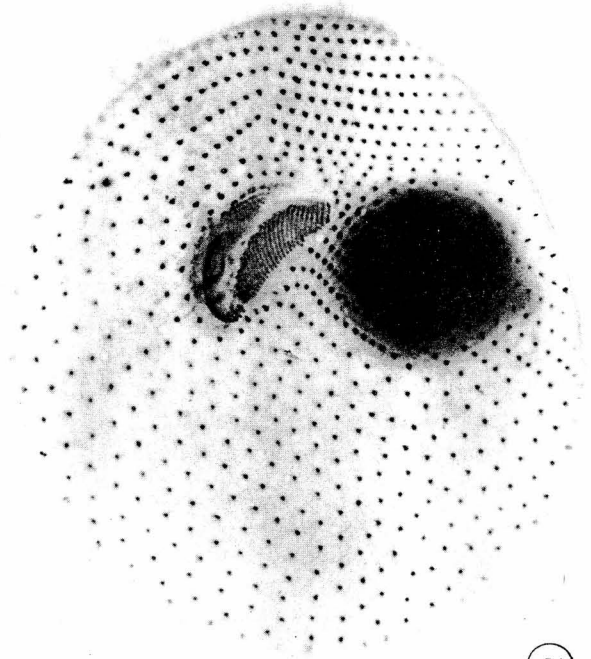
Gattungen und Arten

Die eigentlichen, d. h. autochthonen Bodenciliaten sind meist schwierig zu kultivieren, sie sind klein und oft recht empfindlich, weshalb sie als Praktikumsobjekte nur dem Fortgeschrittenen zu empfehlen sind. Daher wird nur eine derartige Form vorgestellt, nämlich die obligat mycophage *Grossglockneria acuta*. Die anderen hier behandelten Arten sind nicht so streng an den Boden gebunden, etwas größer und weniger empfindlich; man findet sie gelegentlich auch in limnischen Biotopen, besonders in Heuaufgüssen, wohin sie meist mit Bodenkrümel gelangen. Die weitere Auswahl der Objekte erfolgt in Hinblick auf ihre Überlebensstrategie (r/K-Selektion) und Ernährung. Alle im folgenden besprochenen Arten findet man mit hoher Wahrscheinlichkeit in wassergesättigten Kulturen (non-flooded petri dish method) von getrockneten und danach wieder angefeuchteten Wald- und Wiesenböden.

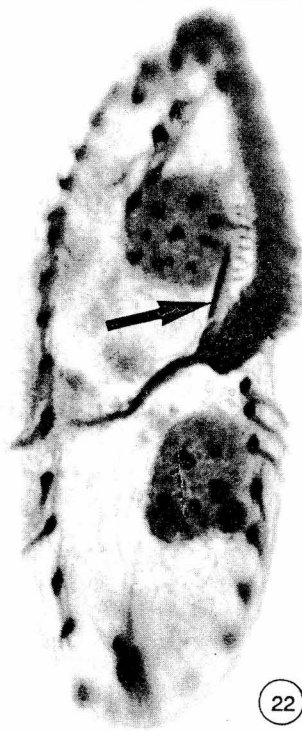
Abb. 20-24: einige Bodenciliaten nach Versilberung und im Rasterelektronenmikroskop. **20:** *Colpoda steinii*, Infraciliatur und Silberliniensystem der rechten Seite nach trockener Silbernitratimprägnation (vgl. Abb. 10, 14, 15). **21:** *Colpoda cucullus*, Infraciliatur der Ventralseite und des Oralapparates nach Silberkarbonatimprägnation (vgl. Abb. 14-16). **22 und 23:** *Gonostomum affine*, Cirren-Muster der Ventralseite nach Protargolimprägnation und im Rasterelektronenmikroskop (vgl. Abb. 30-32). Die Pfeile weisen auf die undulierenden Membranen. **24:** *Grossglockneria acuta* im Rasterelektronenmikroskop. Der Pfeil weist auf die Freßröhre (vgl. Abb. 25).



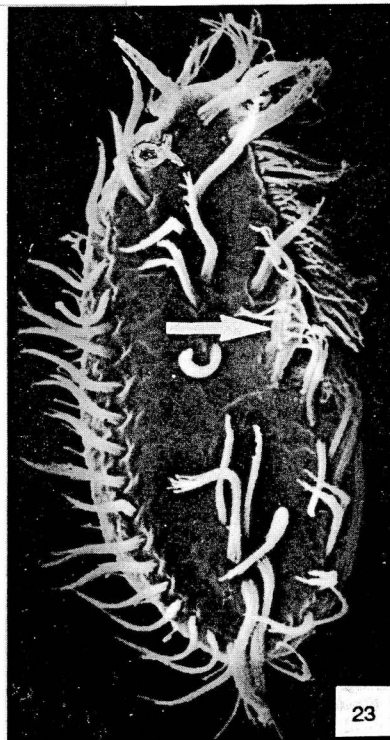
20



21



22



23



24

Colpoda sp. *Vestibulifera* im weiteren Sinn, Kl. Colpodea, O. Colpodida, Fam. Colpodidae (Abb. 10, 14-21)

Colpodide Ciliaten sind in allen edaphischen Biotopen so verbreitet und häufig, daß die Ciliaten-Gemeinschaft des Bodens Colpodetea genannt wird (in Analogie zu dem System der Pflanzengesellschaften). Es sind meist kleine (30-100 µm), mäßig stark abgeflachte Ciliaten mit r-selektionierter Überlebensstrategie, d. h. sie sind wenig anspruchsvoll, schlüpfen bei geeigneten Umweltbedingungen rasch aus den Ruhecysten und bauen dann schnell starke Populationen auf, da sie sich nicht wie üblich zweisondern vierteilen.

Arten aus der Familie Colpodidae findet man in jeder Bodenprobe. Sie haben einen subapikalen Mundtrichter (Vestibulum) auf der Ventralseite, der zwei große Wimpernfelder (ein linkes am Boden und ein rechtes am Dach des Vestibulums) enthält (Abb. 14-16, 20, 21), ein gitterförmiges Silberliniensystem (Abb. 15, 20) und leicht spiralig verlaufende Wimpernreihen, die aus paarigen Cilien (Dikinetiden) bestehen (Abb. 14). Die Wimpernreihen beginnen am praeoralen Kiel und entlang des linken Mundrandes und ziehen zum Hinterende der Zelle (Abb. 15, 20, 21). Im hinteren oder mittleren Körperabschnitt liegt der Kernapparat, der, wie bei Ciliaten üblich, aus Makro- und Mikronucleus besteht (Abb. 14, 19, 21). Meist sind die Zellen vollgestopft mit kugeligen Nahrungsvakuolen, die Bakterien enthalten (Abb. 14).

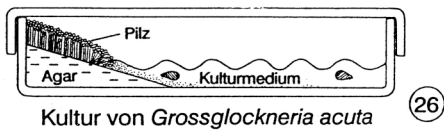
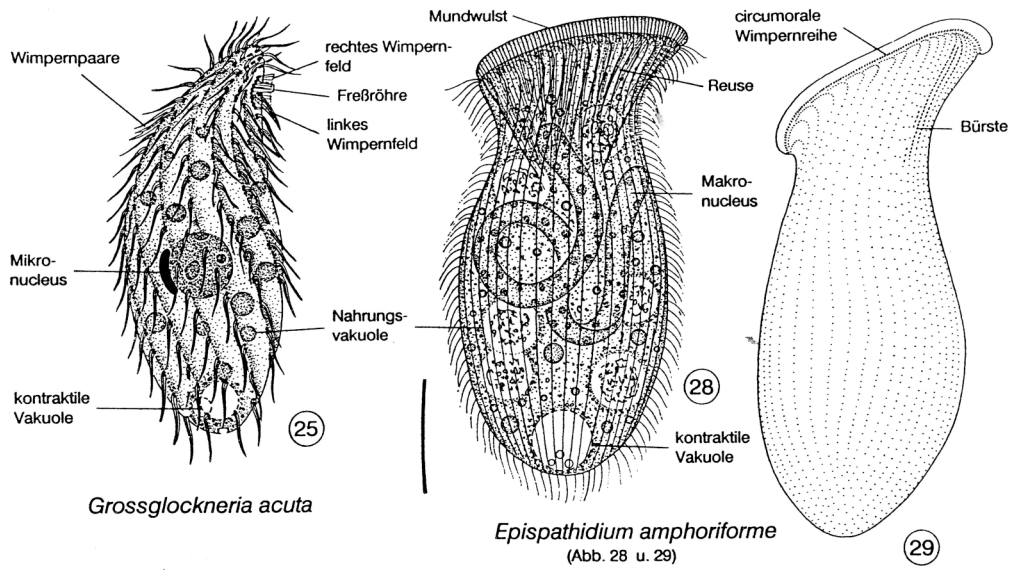
Zum Studium des Lebenszyklus entnimmt man der Rohkultur mit der Mikropipette einige Zellen und überträgt sie in eine kleine Petri-

schale, die etwa 10 ml kohlensäurefreies Tafelwasser oder nicht chloriertes Leitungswasser und ein zerdrücktes Weizenkorn enthält. Nach 3-4 Tagen kann man viele Teilungscysten, nach etwa 2 Wochen, wenn das Medium erschöpft ist, vorwiegend Ruhecysten am Boden der Kulturschale beobachten. Ein teilungs- bereites Individuum kugelt sich zuerst ab und umgibt sich dabei mit einer dünnen Wand. Dadurch entsteht die sogenannte pluripotente Cyste, aus der bei günstigen Verhältnissen eine dünnwandige Teilungs-, bei ungünstigen eine dickwandige, mehrschichtige Ruhecyste wird (Abb. 17 und 18). Bei der ersten Teilung der Zelle innerhalb der Cyste entstehen zwei Tochterzellen; jede Tochterzelle teilt sich dann noch einmal, so daß bei einem Zyklus vier Individuen gebildet werden (Abb. 17).

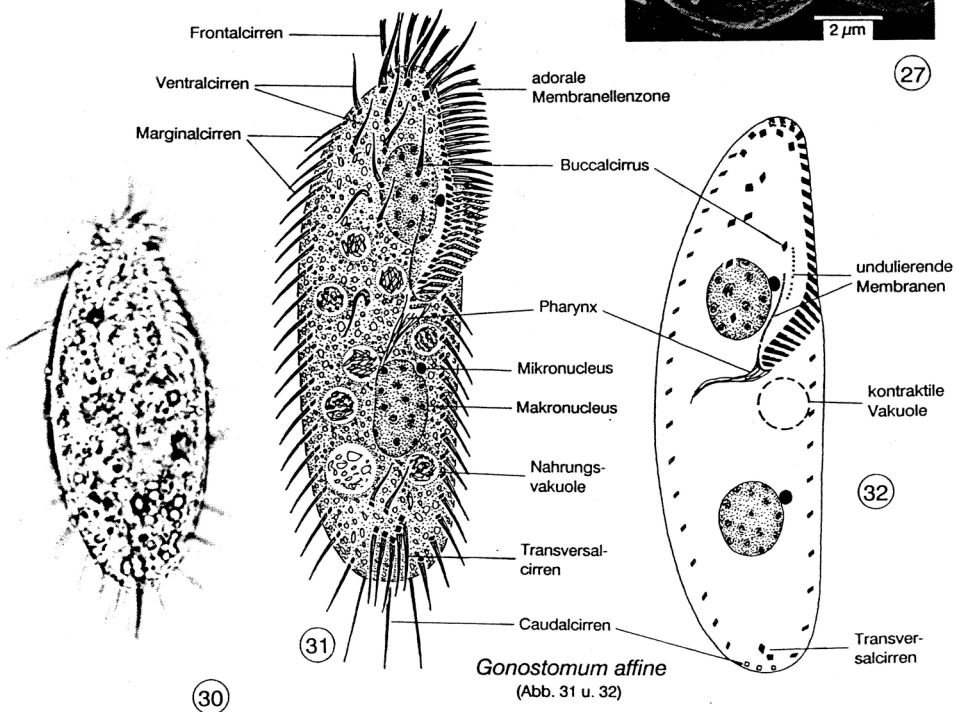
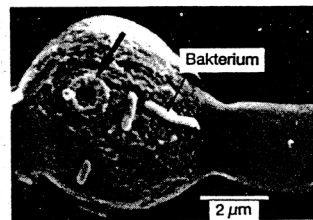
Grossglockneria acuta. *Vestibulifera* im weiteren Sinn, Kl. Colpodea, O. *Grossglocknerida*, Fam. *Grossglockneridae* (Abb. 24-27)

Grossglockneria acuta ist ebenfalls ein colpodides Ciliat und findet sich regelmäßig in der sauren, pilzreichen Nadelstreu. In wassergesättigten Streukulturen erreicht sie ihre höchste Individuendichte schon nach 2-3 Tagen (r-Strategie!). Das Ciliat ist 40-60 x 15-35 µm groß, kaum abgeflacht und besonders am Vorderende deutlich zugespitzt. Es schwimmt schnell und rotierend. Die Pellicula wird durch 10-12 stark spiralig verlaufende Wimpernreihen meist deutlich gefurcht. Die allgemeine Organisation (Aufbau des Wimpernkleides und des Kernapparates, Lage der

Abb. 25-27: Morphologie und Kultur der mycophagen *Grossglockneria acuta*. 25: rechte Körperseite in vivo (50 µm). 26: Kultur (Erklärung im Text). 27: eine von *G. acuta* mit der Freßröhre «angebohrte» Pilzhyphe (Pfeil). Abb. 28 und 29: Morphologie des räuberischen *Epispathidium amphoriforme*. 28: linke Seite in vivo (130 µm), links eine stärker vergrößerte Toxicyste aus dem Mundwulst. 29: linke Seitenansicht nach Protargolimprägnation. Abb. 30-32: Morphologie des hypotrichen *Gonostomum affine*. 30 und 31: Ventralansichten in vivo (100 µm). 32: Infraciliatur (Anordnung der Cirren, Cilien und adoralen Membranellen) der Ventralseite und Kernapparat nach Protargolimprägnation.



von *G. acuta*
«angebohrte»
Pilzhyphe
(Pfeil)



kontraktilen Vakuole, Silberliniensystem, Lebenszyklus) stimmt mit der von *Colpoda* überein. Der Aufbau des Oralapparates weicht dagegen sehr ab. Das Vestibulum und die colpodiden Wimpernfelder sind stark reduziert. Im Zentrum des winzigen ($< 5\mu\text{m}$), nahe dem Vorderende gelegenen Mundes entspringt eine etwa $2 \times 1\mu\text{m}$ große Freßröhre, mit der Pilzhyphen, Pilzsporen und Hefezellen enzymatisch «angebohrt» und ausgefressen werden (Abb. 24, 25, 27). Nur der Inhalt der Beute wird ingestiert, die Zellwand bleibt bis auf das «Bohrloch» ungeschädigt (Abb. 27). Experimente zeigten, daß die *Grossglockneridae* obligat mycophag sind, d. h. keine andere Nahrung aufnehmen können, was auch der hoch spezialisierte Oralapparat beweist. Die einzelnen Arten der Familie sind auf bestimmte Pilze spezialisiert, manche fressen auch Pflanzenparasiten (z. B. *Ustilago maydis*, den Erreger des Maisbrandes), was nahe legt, sie zur Bekämpfung von Pilzkrankheiten einzusetzen.

Grossglockneria acuta ist verhältnismäßig leicht zu kultivieren (Abb. 26). Eine sterile Petrischale wird mit Nähragar (3,5% Malzextrakt, 0,5% Pepton, 3% Agar, Leitungswasser; 3 x 20 Min. fraktioniert sterilisieren) gefüllt, und zwar so, daß die Hälfte des Schalenbodens frei bleibt («Schrägagar»). Während der Agar erstarrt, wird er mit geeignetem Futter beimpft (*Mucor mucedo*, *Aspergillus* spp., *Absidia orchidis*; diese Pilze sind in den meisten mikrobiologischen Labors erhältlich). Nach einigen Tagen, sobald der Pilz zu fruchten beginnt, füllt man die Petrischale so weit mit Knop'scher Nährlösung (1g KNO_3 , 0,1g $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,2g K_2HPO_4 , 0,1g $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, 1mg FeCl_3 , 1000 ml destilliertes Wasser, pH 6,5), daß der Rand des Pilzrasens darin gerade eintaucht (Pilzrasen nicht über-schwemmen, sonst wächst er nicht mehr weiter!). In die so vorbereitete Kultur gibt man mit der Mikropipette einige Individuen von *Grossglockneria acuta* aus der Rohkultur oder

aus einer alten Stammkultur. Schon nach einer Woche haben sich die Ciliaten so stark vermehrt, daß ihr Lebenszyklus, der ganz jenem von *Colpoda* gleicht (Vierfachteilung in Cysten), bequem studiert werden kann. Unter der Stereolupe kann man beobachten, wie *Grossglockneria acuta* an den ins Kulturmedium hängenden Hyphen und den am Boden der Schale liegenden Sporen frißt.

Gonostomum affine. Spirotricha im weiteren Sinn, Kl. Hypotricha, O. Hypotrichida, Fam. Oxytrichidae (Abb. 22, 23, 30-32)

Gonostomum affine findet man ebenfalls in fast allen Bodenproben. Es ist ein $70\text{-}120 \times 30\text{-}60\mu\text{m}$ großes, deutlich abgeflachtes hypotriches Ciliat, d. h. bei ihm sind auf der Ventralseite jeweils mehrere Wimpernzugriffelartigen Organellen verbunden, den sogenannten Cirren (Abb. 23, 30, 31); die Dorsalseite besitzt dagegen nur drei Reihen von kurzen (etwa $3\mu\text{m}$), borstenförmigen Wimpern. Das auffallendste Organell ist die adorale Membranelnzone, die aus etwa 27 Wimpernplatten besteht, von denen jede aus mehreren Wimpernreihen aufgebaut ist. Die Zone strudelt die Nahrung (vorwiegend Bakterien) in das flache Mundfeld, das am rechten Rand von zwei kurzen, unscheinbaren undulierenden Membranen begrenzt ist (Abb. 22, 23, 31, 32). Der Kernapparat besteht aus zwei ellipsoiden Makronucleus-Teilen und zwei Mikronuclei (Abb. 22, 31, 32). Die kontraktile Vakuole liegt am linken Körperrand (Abb. 32). Das komplizierte Cirren-Muster der Ventralseite, das bei den Hypotrichen für die Artbestimmung sehr wichtig ist, kann man nur nach Silberimpragnation (Protargol; Abb. 22, 32) oder im Rasterelektronenmikroskop (Abb. 23) genau studieren.

Die Hypotrichida, zu denen *Gonostomum affine* gehört, sind sogenannte K- («capacity») Strategen, d. h. sie sind im Vergleich zu den

mehr r-selektierten colpodiden Ciliaten anspruchsvoller (weshalb sie schwieriger zu kultivieren sind), schlüpfen später aus den Ruhecysten (weshalb sie in den wassergesättigten Kulturen erst nach den Colpodiden auftauchen) und erreichen das Häufigkeitsmaximum langsamer, da sie sich nur durch Zweiteilung vermehren.

Spathidium sensu lato. Holotricha im weiteren Sinn, Kl. Kinetofragminophora, O. Spathidiida, Fam. Spathidiidae (Abb. 28 und 29)

Die Spathidiidae sind holotriche Räuber, die sich von anderen Ciliaten ernähren. Es gibt mehrere Gattungen und viele Arten, die sich in Einzelheiten der Bewimperung, des Kernapparates und der Gestalt unterscheiden (Abb. 3, 28). Das hier vorgestellte *Epispathidium amphoriforme* ist ein recht großes (90-150 x 35-65 μm), spatelförmiges Ciliat, dessen Vorderende als Mund ausgebildet ist (Abb. 28 und 29). Im Mundwulst befinden sich viele etwa 7 μm lange Toxicysten, deren Gift die Beute tötet (Abb. 28). Von den Basalkörpern der circumoralen Wimpernreihe entspringen lange, feine Stäbe (Nematodesmen), die eine

trichterförmige Reuse bilden, in der die Beute in den sackförmigen Zellkörper gleitet. Der Makronucleus ist nudelförmig und verschlungen. Die kontraktile Vakuole befindet sich am Hinterende (Abb. 28). Die Wimpernreihen verlaufen meridional. Am dorsalen Vorderende sind drei Reihen zu einer sogenannten «Bürste» differenziert, deren Cilien verkürzt (< 5 μm) und in Paaren angeordnet sind. Die Funktion dieses Organells ist unbekannt (Abb. 29).

Literaturverzeichnis und Filmverzeichnis

W. Foissner (1987), Soil protozoa: fundamental problems, ecological significance, adaptations in ciliates and testaceans, bioindicators, and guide to the literature. In: Progress in Protistology (J. O. Corliss und D. J. Patterson, Hrsg.), Bd. 2, S. 69-212. Biopress Ltd., Bristol

Film

K. G. Grell (1964), Morphologie der Ciliaten I - Holotricha. Film C 881, IWF, Göttingen, 9 1/2 Min.