

DIE WUNDER DER MIKROWELT

Wilhelm FOISSNER, Wolfgang PETZ, Andreas UNTERWEGER, Eva HERZOG,
Peter SIMONSBERGER, Wolf-Dietrich KRAUTGARTNER & Andreas ZANKL

Die Wunder der Mikrowelt wurden seit der Erfindung des Mikroskops oft bestaunt, beschworen und beschrieben, z. B. vom Gründer und Leiter der Naturkundlichen Station der Stadt Linz, Ewald SCHILD. Aber erst heute stehen uns mit dem Rasterelektronenmikroskop und der Versilberung Techniken zur Verfügung, die diese Wunder wirklich anschaulich und beeindruckend darstellen können. Davon mögen die folgenden, vorwiegend nach ästhetischen Gesichtspunkten ausgewählten Bilder Zeugnis geben. Sie zeigen einige besonders schöne Ciliaten (Wimpertiere), die man mit etwas Glück auch in unseren Gewässern findet. Die Originalgröße der abgebildeten Organismen beträgt 50-500 µm; mit bloßem Auge sind die größeren also gerade noch als weiße Pünktchen erkennbar. Die ganze Vielfalt und ornamentale Schönheit der dargestellten Strukturen ist also in einer Länge von weniger als 1 mm enthalten!

Das eigentlich erstaunliche an der Mikrowelt sind aber nicht die vielen verschiedenen Formen, die man ja auch bei den größeren Tieren und Pflanzen in reicher Zahl findet, sondern die Tatsache, daß es sich bei jedem dieser „Pünktchen“ um ein vollständiges Lebewesen handelt. Und es hat alle jene Eigenschaften, mit denen wir das Leben und letztendlich auch uns selbst definieren: Stoffwechsel zur Energiegewinnung, Reizbarkeit zum Reagieren auf die Umwelt, Vermehrung. Was bei uns Vielzellern Milliarden spezialisierte Zellen leisten (Nervenzellen, Hautzellen usw.), ist bei den Einzellern auf den winzigen Raum einer einzigen Zelle zusammengedrängt. Daher sind sie so kompliziert und vielfältig - und faszinierend. Um in der oft gar nicht freundlichen Umwelt, in der sie mit vielen anderen Einzellern und Vielzellern um Platz und Nahrung konkurrieren müssen, bestehen zu können, haben sie, so wie die Vielzeller, viele Mechanismen und Anpassungen entwickelt: Pfeile (Extrusome) zur Verteidigung und zum Töten, Hüllen und Gehäuse zum Schutz vor chemischen Giften und Austrocknung, Gifte und spezielle Ernährungsweisen. Daher sind viele Protozoen ausgezeichnete Bioindikatoren und werden in der Praxis des Umwelt-

schutzes auch zur Quantifizierung von Biotopveränderungen benutzt.

Das Rasterelektronenmikroskop (REM) arbeitet im Prinzip wie ein Lichtmikroskop, nur wird zur Abbildung nicht Licht, sondern ein Elektronenstrahl verwendet, der im Hochvakuum das Objekt, genauer seine Oberfläche abtastet („rastert“). Daher erhält man mit dem REM ein dreidimensionales Abbild der Oberfläche. In die Objekte hineinschauen, wie mit dem Lichtmikroskop kann man nicht. Auch müssen die Organismen mit bestimmten Chemikalien fixiert und entwässert werden, da lebende Zellen im Hochvakuum und unter dem Elektronenstrahl sofort platzen würden. Mit normalen Rasterelektronenmikroskopen erreicht man bei biologischen Objekten eine Vergrößerung bis etwa 100.000fach. Eine neue Weiterentwicklung ist das Rastertunnelmikroskop, mit dem man millionenfach vergrößern und daher sogar einzelne Atome (Durchmesser 10^{-8} bis 10^{-7} cm) abbilden kann!

Eine revolutionäre Methode, die im Jahre 1926 der Österreicher Dr. h. c. Bruno M. KLEIN einführte, ist die Versilberung von Protozoen. Damit kann man die Basalkörper, das ist der untere (proximale) Teil der Wimpern, und die einzelnen Wimpernreihen verbindenden Fibrillen („Silberlinien“) im Lichtmikroskop besonders klar darstellen, da sie eine starke Affinität zu Silber haben und nach entsprechender Behandlung als dunkelbraune oder schwarz imprägnierte Punkte und Linien scharf hervortreten. Die Versilberungstechnik ist auch heute, im Zeitalter der Elektronenmikroskopie und Molekularbiologie, noch eine wichtige Methode in der Protozoenforschung.

Anschrift der Verfasser

Univ.-Prof. Dr. Wilhelm FOISSNER, Dr. Wolfgang PETZ, Dr. Andreas UNTERWEGER, Dr. Eva HERZOG, Univ.-Doz. Dr. Peter SIMONSBERGER, Dr. Wolf-Dietrich KRAUTGARTNER, Andreas ZANKL
Universität Salzburg
Institut für Zoologie
Hellbrunnerstrasse 34
A-5020 Salzburg, Austria.

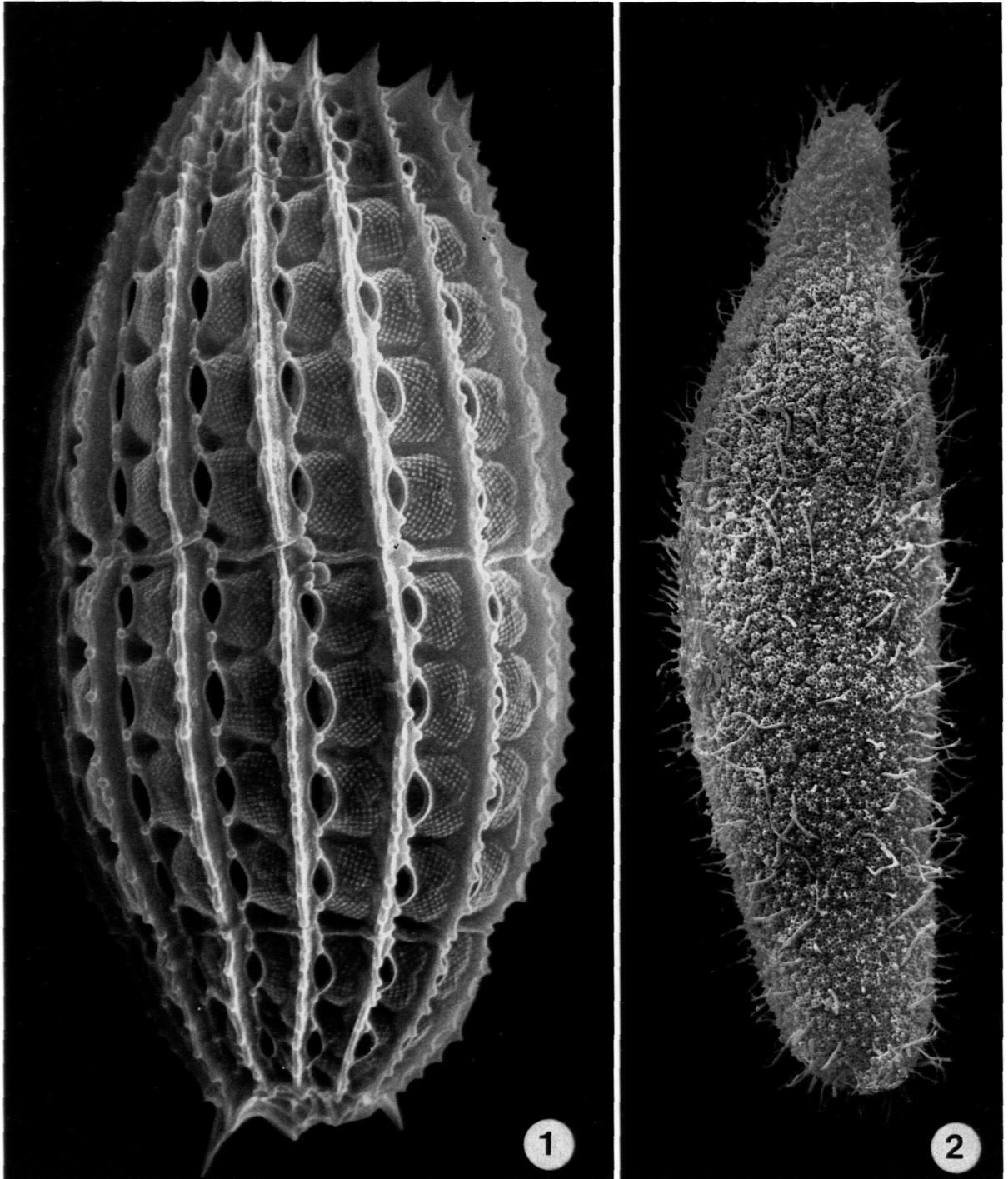
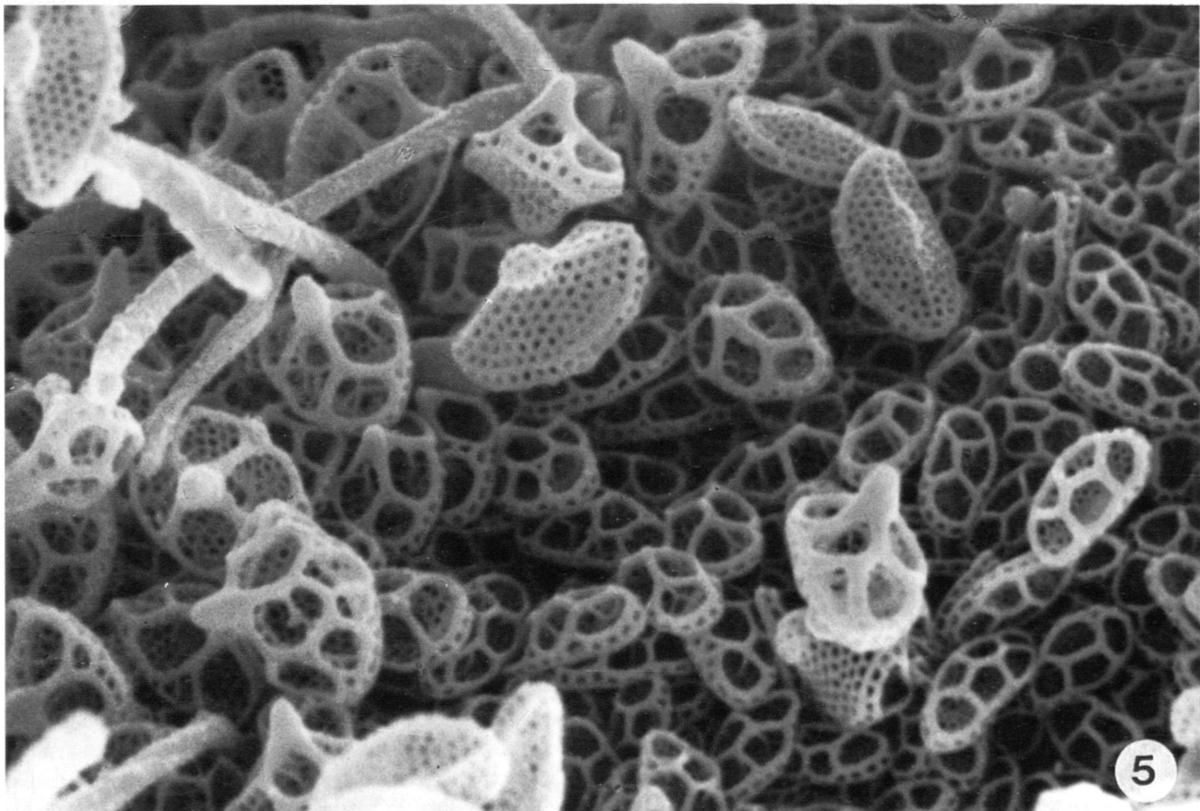
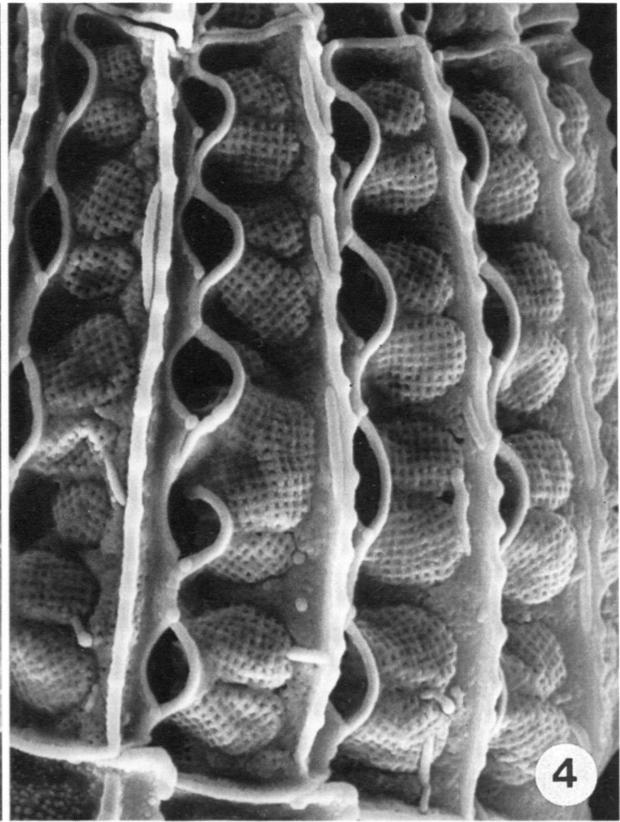
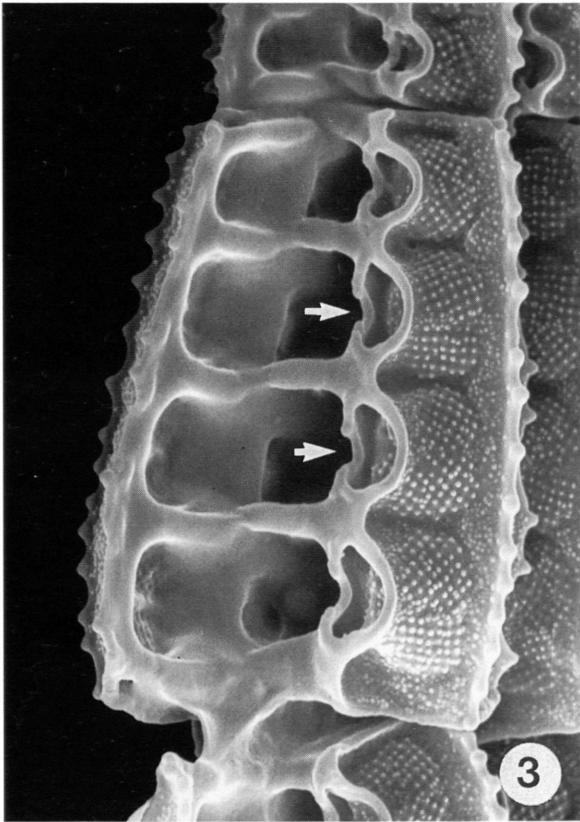


Abb. 1-5: Das etwa 60 μm große Panzertierchen (*Coleps hirtus*; Abb. 1, 3, 4) und das 150 μm lange Schuppenblatt (*Lepidotrachelophyllum* sp.; Abb. 2, 5) sind zwei besonders schöne Wimpertiere, die aber gierige Räuber sind und vorwiegend andere Ciliaten fressen. Beide schützen sich mit einem Panzer, der bei *Coleps* aus großen, reich verzierten Kalkplatten, bei *Lepidotrachelophyllum* aus zahllosen winzigen (1-2 μm), doppelt kegelförmigen, organischen Schuppen besteht, die eine komplizierte, hexagonale Substruktur haben. Die Pfeile in Abbildung 3 weisen auf die winzigen Öffnungen durch die die Wimpern, die bei dieser Präparation nicht erhalten sind, aus dem Panzer ragen.



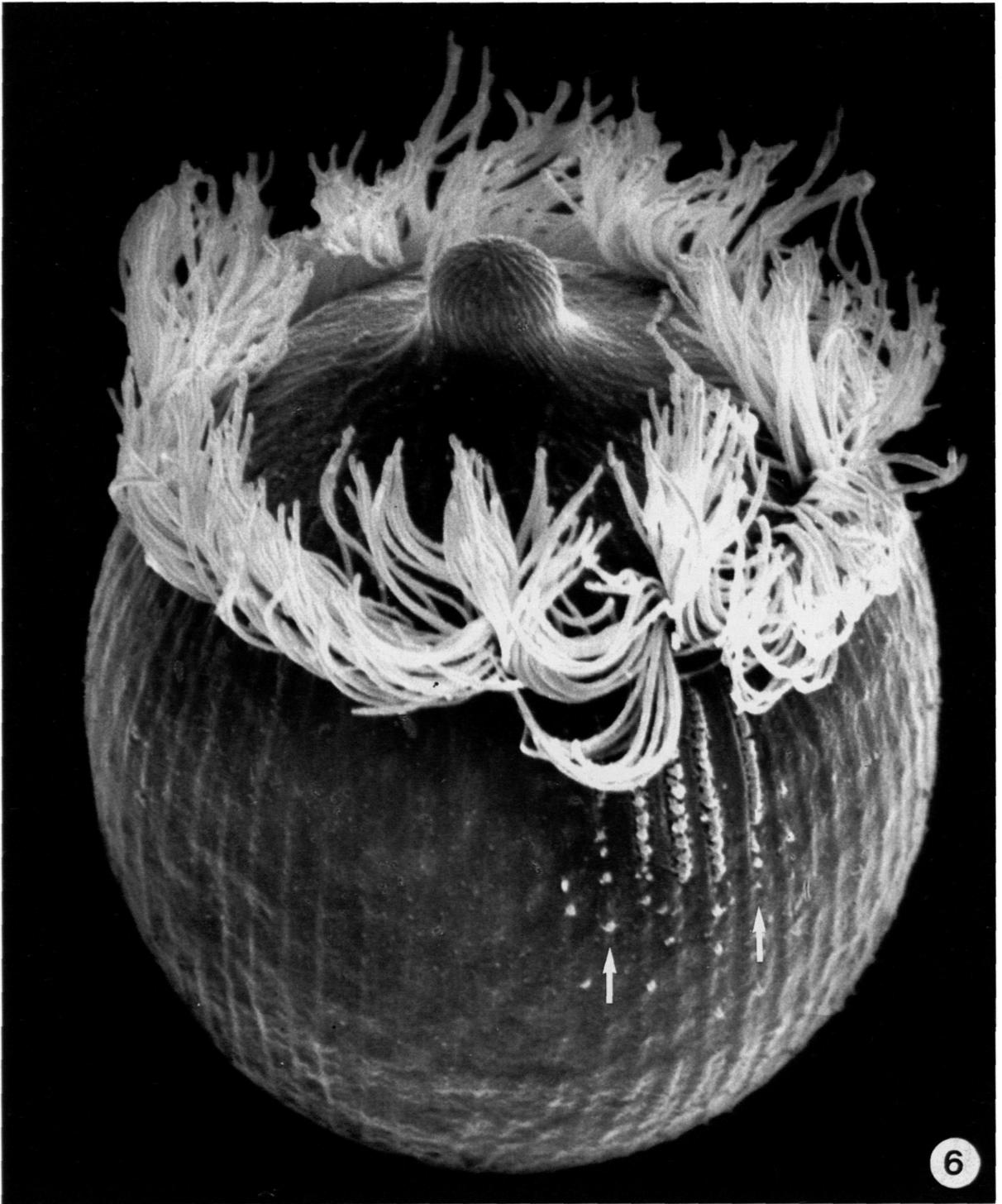


Abb. 6: Das einkränzige Nasentierchen (*Monodinium balbianii*) hat ein weitgehend reduziertes Wimpernkleid. Nur rund um die nasenförmig vorspringende Mundpapille befindet sich ein kräftiger Wimpernkranz, mit dem das hübsche Tierchen sehr rasch kreiselnd schwimmt und andere Ciliaten erbeutet. Auf der Dorsalseite befindet sich ein Sinnesfeld aus fünf kurzen Reihen sehr kleiner Wimpern (Pfeile).

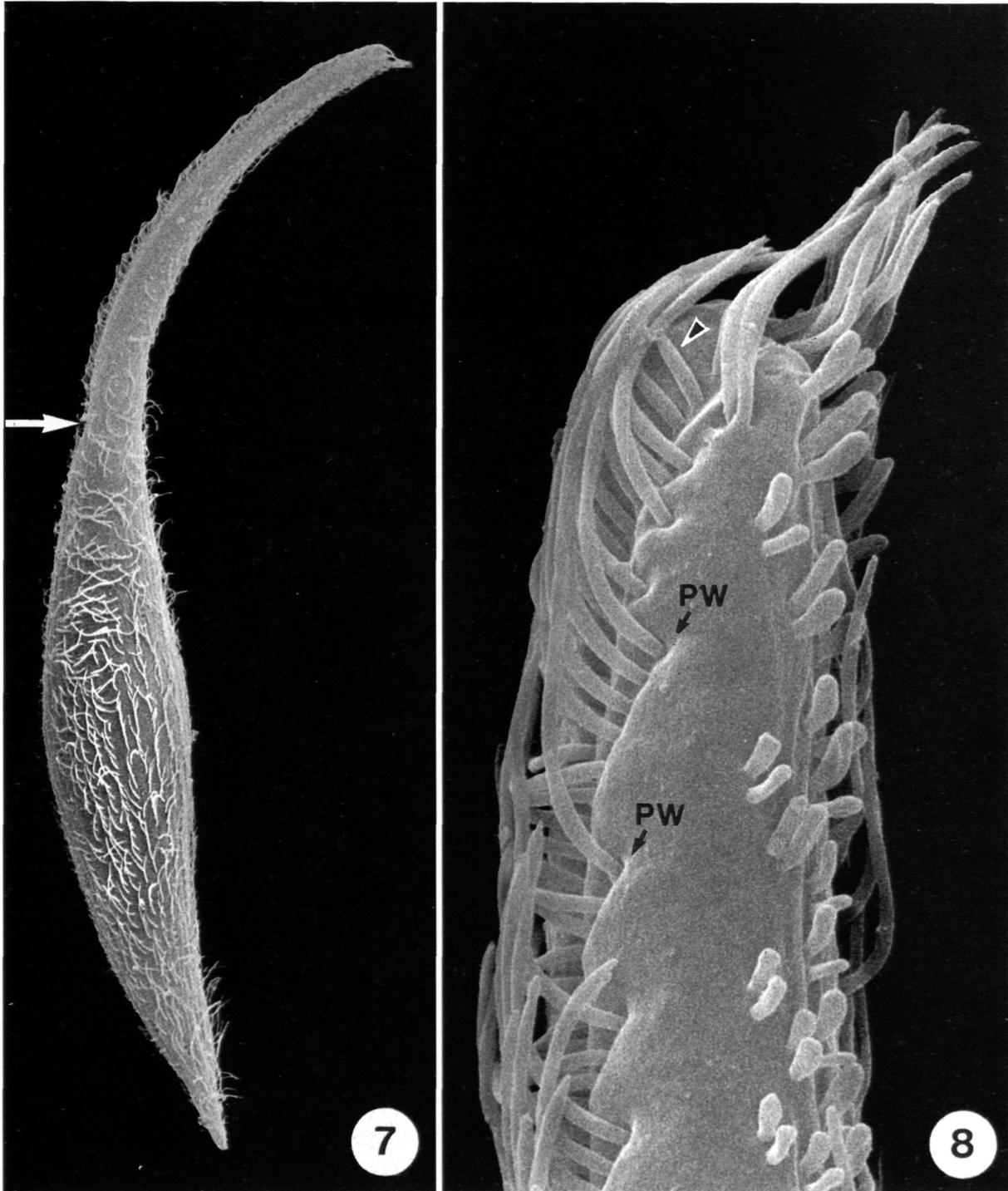


Abb. 7, 8: Das etwa 200 μm lange Rüsseltierchen (*Dileptus terricola*) lebt im Boden, wo es Jagd auf andere Ciliaten macht. Der in den Abbildungen nicht sichtbare Mundeingang befindet sich an der Basis des Rüssels (Pfeil), der kompliziert bewimpert ist (Abb. 8). Besonders auffallend sind die kleinen, blasenförmigen Wimpernpaare (Sinnesborsten?) auf der Dorsalseite des Rüssels. Auf der Ventralseite befinden sich serial angeordnete, lang bewimperte, schräge präorale Wimpernreihen (PW), die rechts von einer langen circumoralen Reihe begrenzt werden, die ebenfalls lange Wimpern hat (Pfeilspitze).

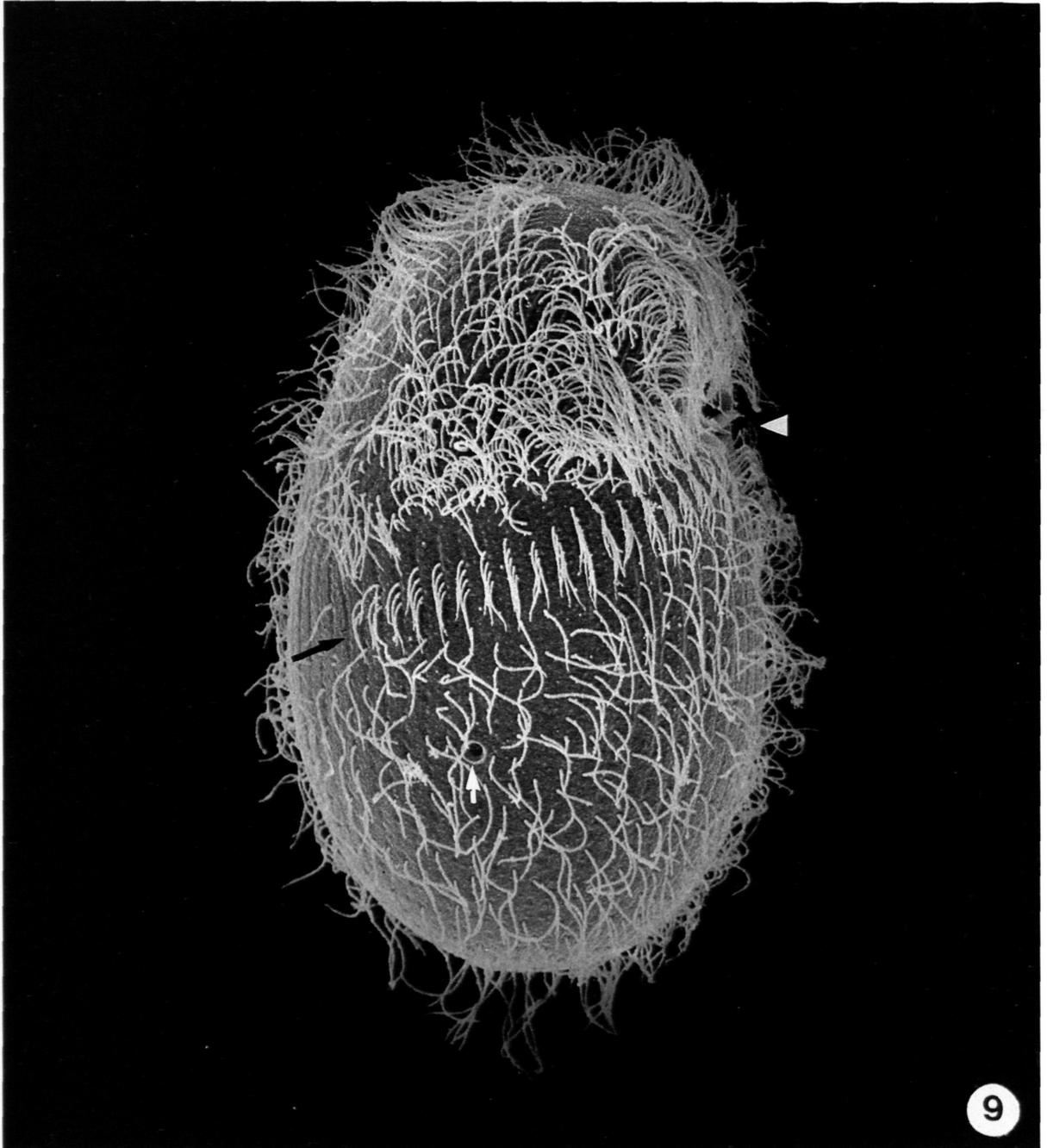


Abb. 9, 10: Das 120 µm große Nierentierchen (*Colpidium colpoda*) kommt nur in sehr stark verschmutzten (z. B. mit häuslichen Abwässern) Gewässern vor, wo es die sich dort reichlich entwickelnden Bakterien frisst. Es ist am ganzen Körper bewimpert. Die Abbildung 9 zeigt die rechte Seite, wo sich ein besonderer Wimpernstreifen (schwarzer Pfeil) befindet, der von dem in einer kleinen Bucht befindlichen Mund wegzieht (Pfeilspitze; vgl. Abb. 10). Der weiße Pfeil weist auf den Exkretionsporus der kontraktiven Vakuole, die das ständig in die Zelle eindringende Wasser und flüssige Exkrete entfernt. Die komplizierte Anordnung der Wimpernreihen (schwarze Punktreihen) und der Silberlinien im Bereich des vorderen Pols und des Mundes zeigt das mit Silbernitrat imprägnierte Exemplar in Abbildung 10. Die Silberlinien verbinden alle Wimpern, genauer ihre Basalkörper, weshalb sie vielleicht eine koordinierende Funktion haben.



10

-MUND

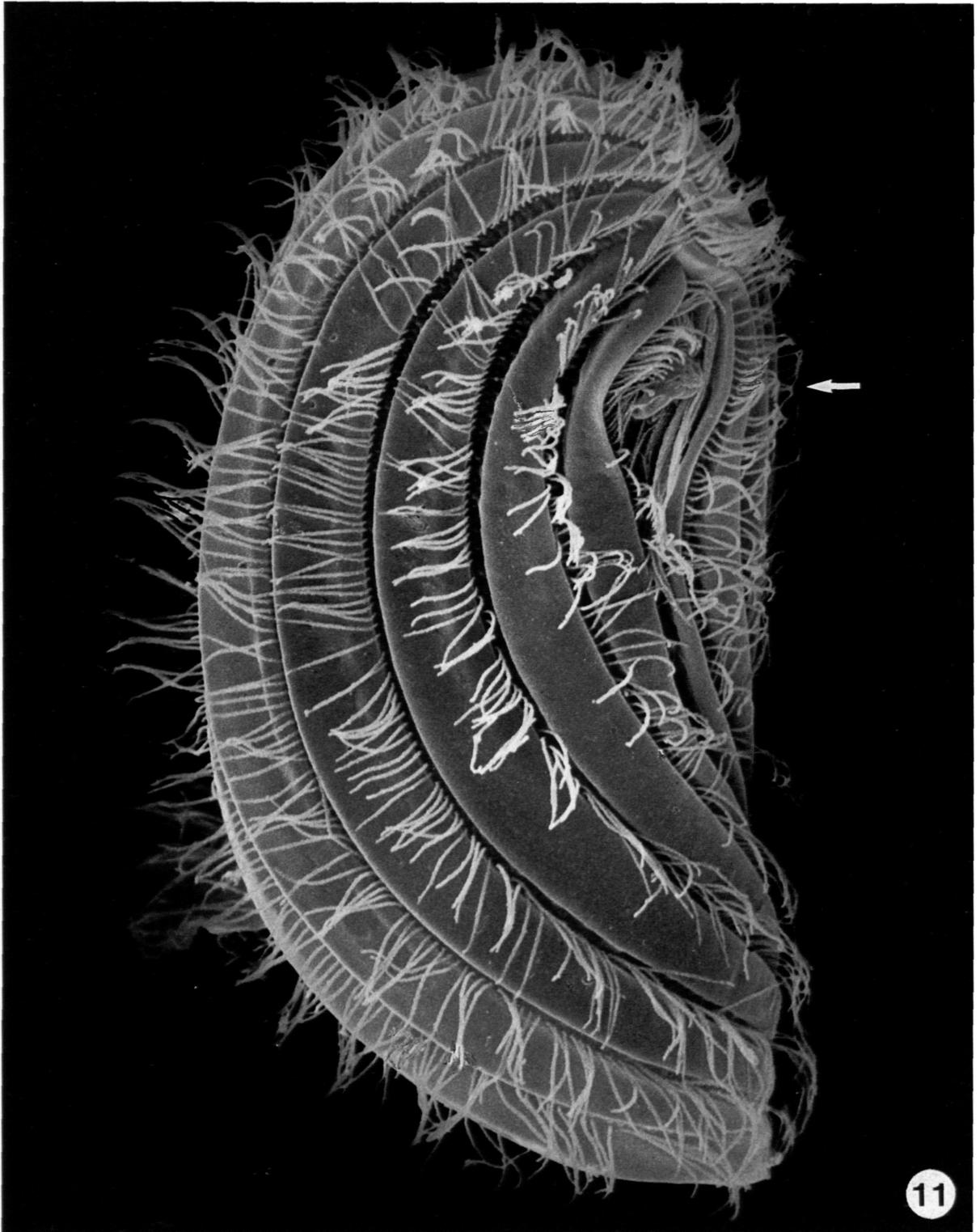


Abb. 11: Das 70 μm große Furchentierchen (*Pseudomicrothorax dubius*) lebt in mäßig stark verschmutzten Gewässern und frisst fä-
dige Blaualgen (Cyanobakterien). Die Wimpernreihen entspringen in tiefen Furchen, die beim Mund (Pfeil) ellipsoid erweitert sind.

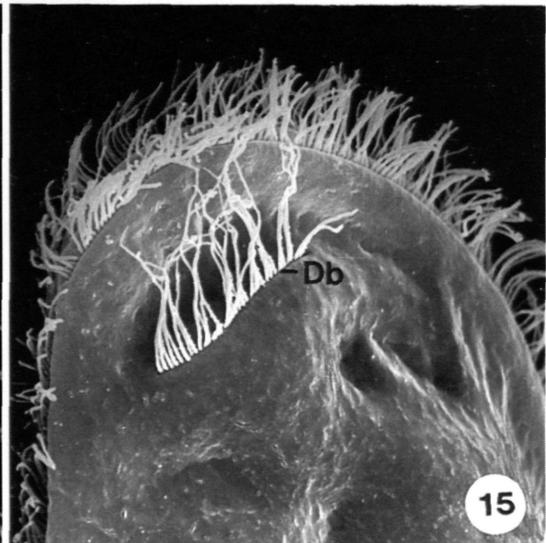
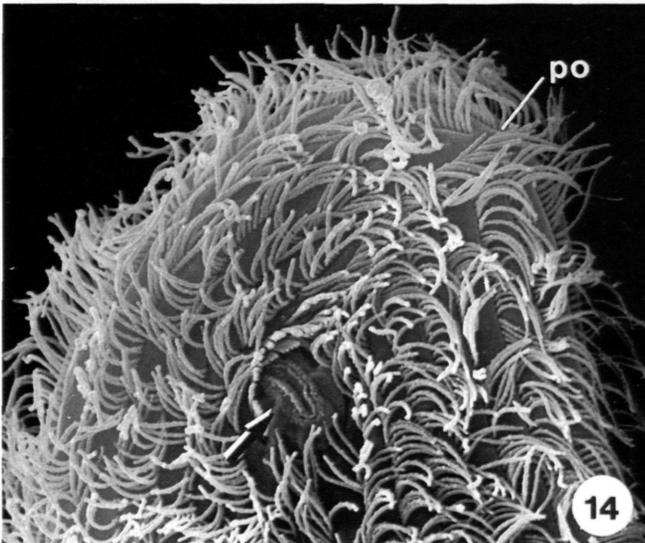
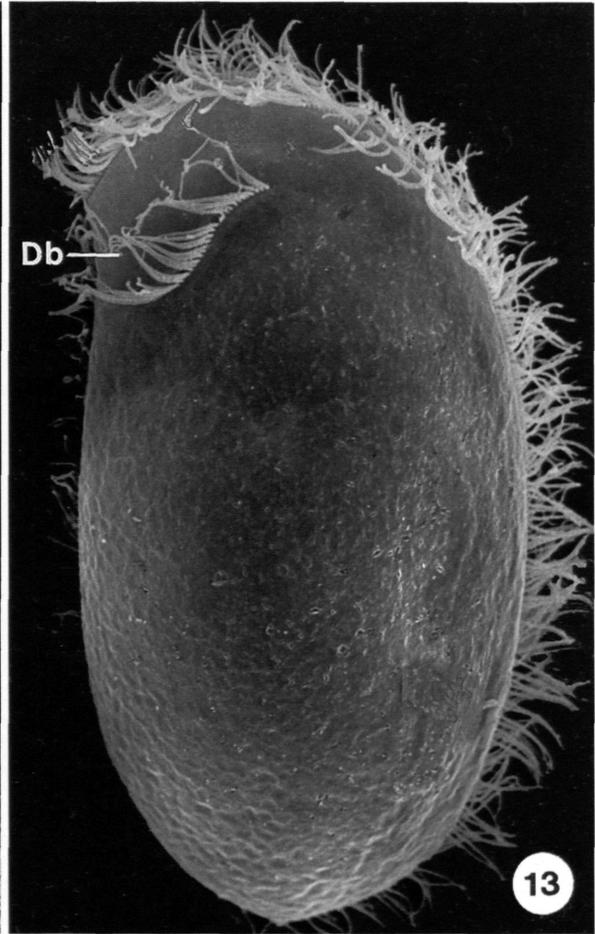
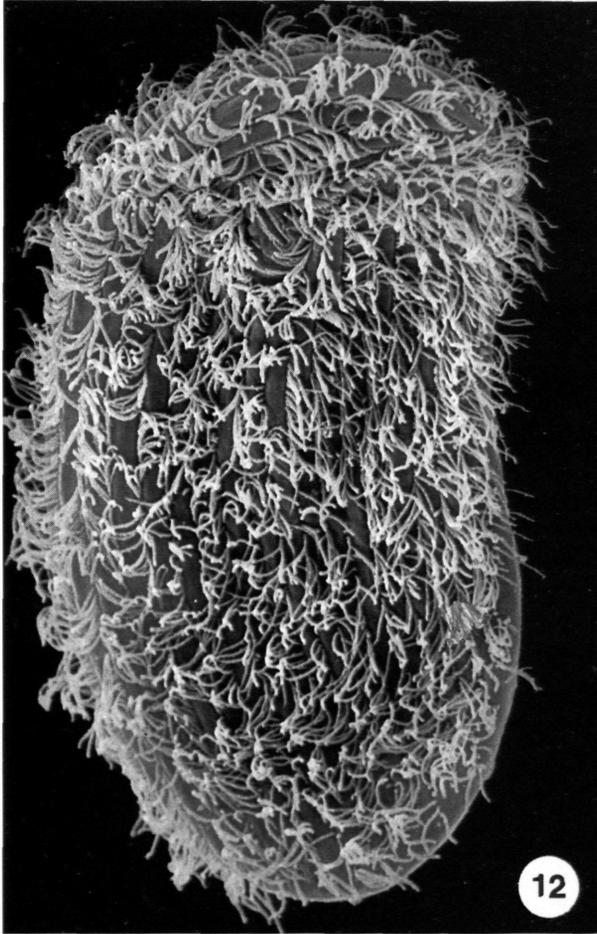
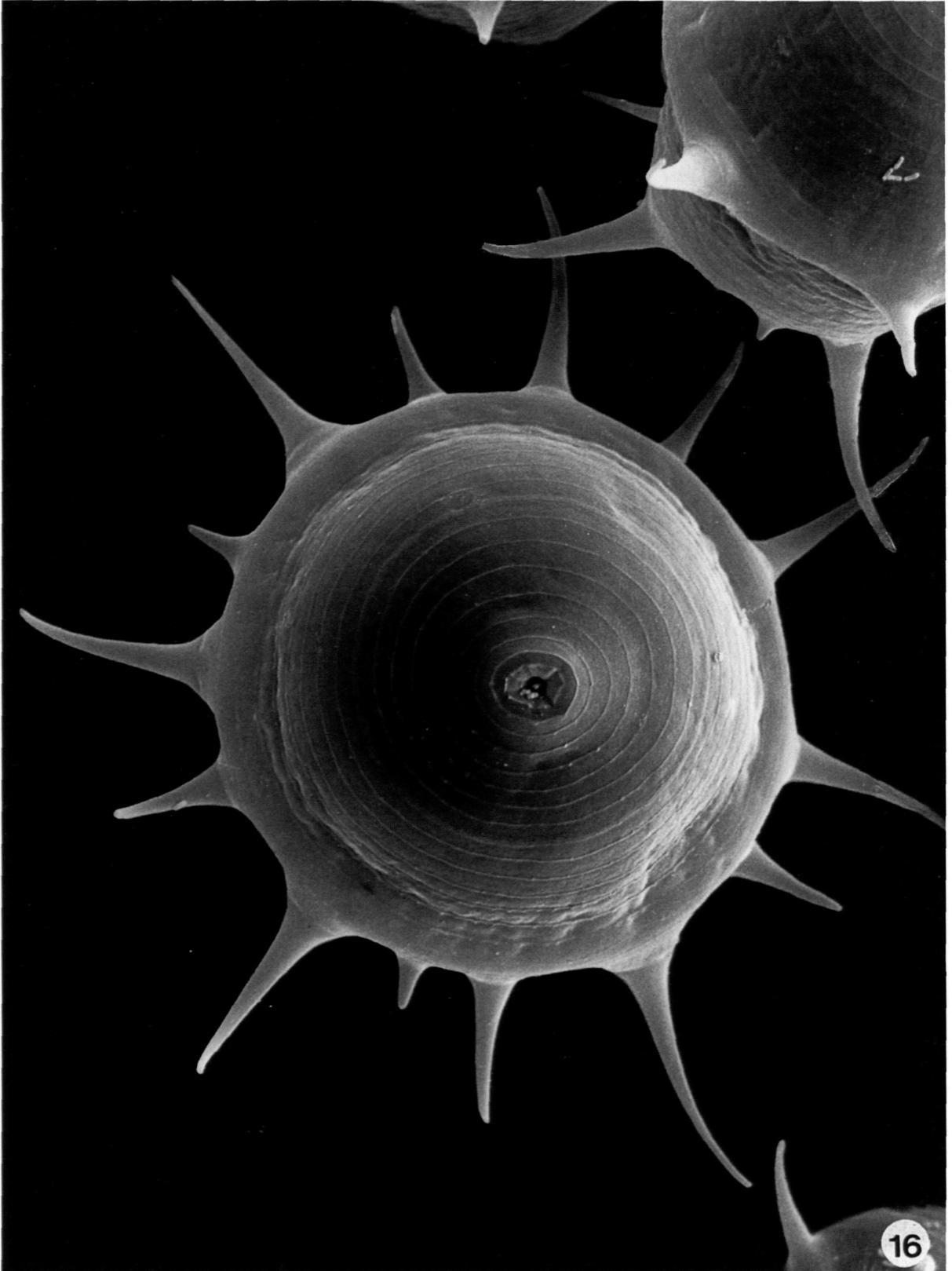


Abb. 12-15: Der 150 µm große Seitenschnabel (*Trithigmostoma cucullulus*) indiziert starke Gewässerverschmutzung. Auf der rechten Seite ist er dicht bewimpert, auf der linken befindet sich nur eine einzige Wimpernreihe, die sogenannte Dorsalbürste (Db). Vom Mund (Pfeil) zieht eine spezielle Wimpernreihe (po) zum Schnabel. Diese Tafel ist unserem „Ciliaten-Atlas“ entnommen, einer Monographie über jene Wimpertiere, die bei der biologischen Gewässergütebeurteilung verwendet werden.



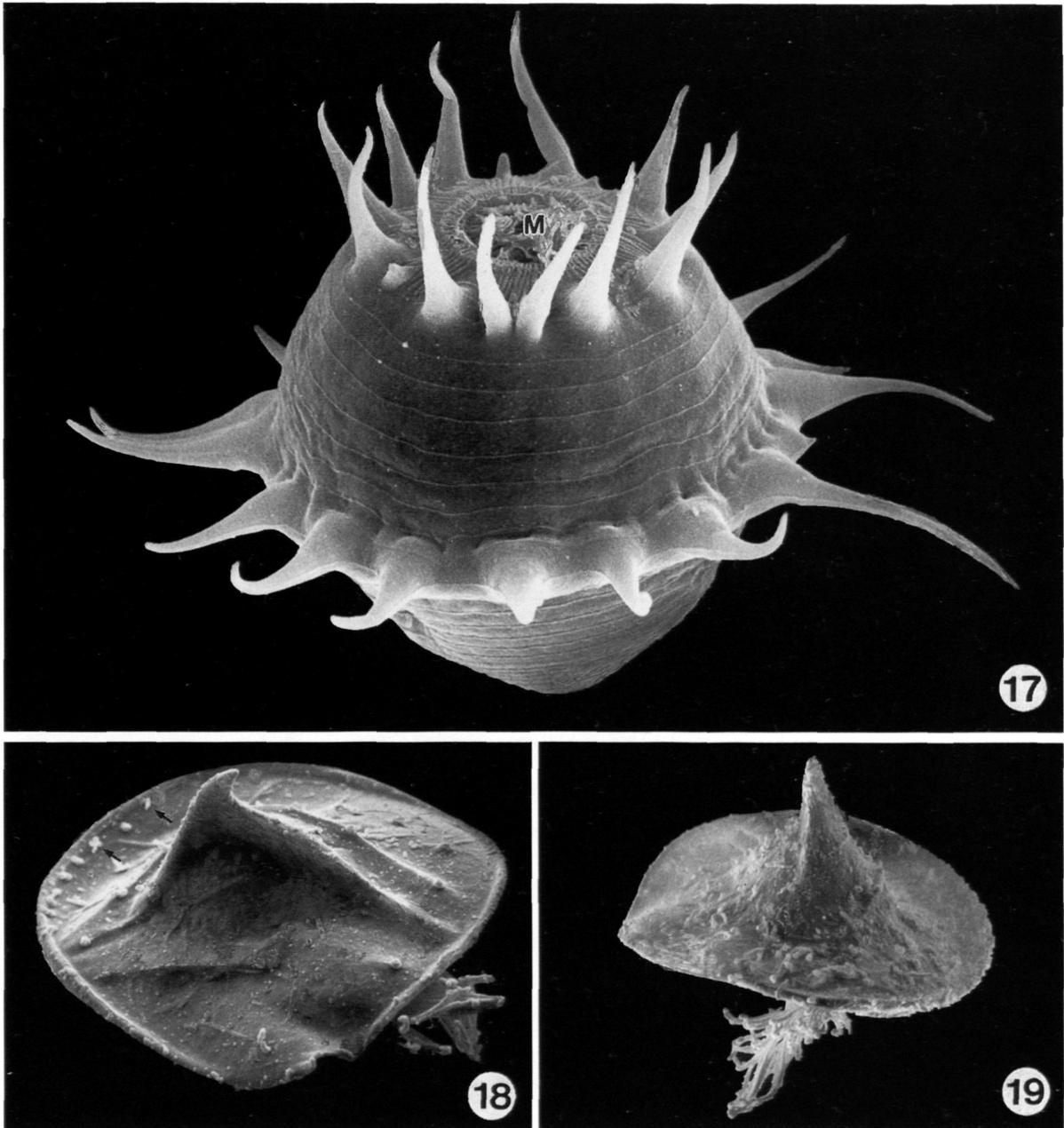


Abb. 18, 19: Die 40 μm große Chinesenmütze (*Aspidisca turrita*) lebt in biologischen Kläranlagen und hat einen auffälligen Stachel auf der nur mit kurzen Borsten (Pfeile) bewimperten Dorsalseite. Die längeren Wimpern der Ventralseite ragen büschelförmig vor. Ob der Stachel eine besondere Funktion hat, oder eine Laune der Natur ist, wissen wir nicht.

Abb. 16, 17: Das 50 μm große Stachelrad (*Hastatella radians*) ist ein stielloses Glockentierchen, das mit seinen langen, beweglichen Fortsätzen, die in zwei Kränzen angeordnet sind, im Wasser schwebt und Bakterien einstrudelt. Abbildung 16 zeigt ein Exemplar von hinten. Die flachen Oberflächenleisten sind konzentrisch um die Ansatzstelle des reduzierten Stiels angeordnet. Abbildung 17 ist eine Seitenansicht, die die zwei Stachelkränze und die Mundöffnung (M) zeigt.

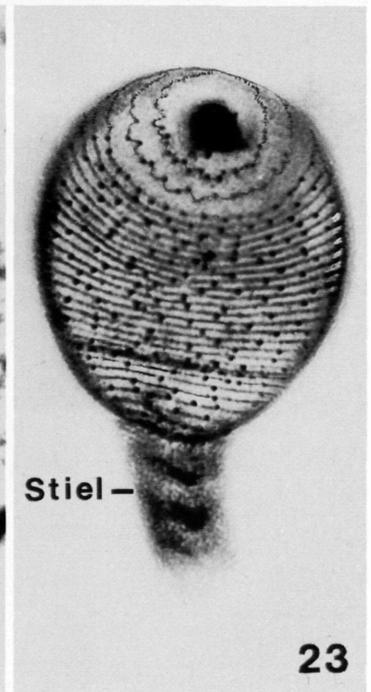
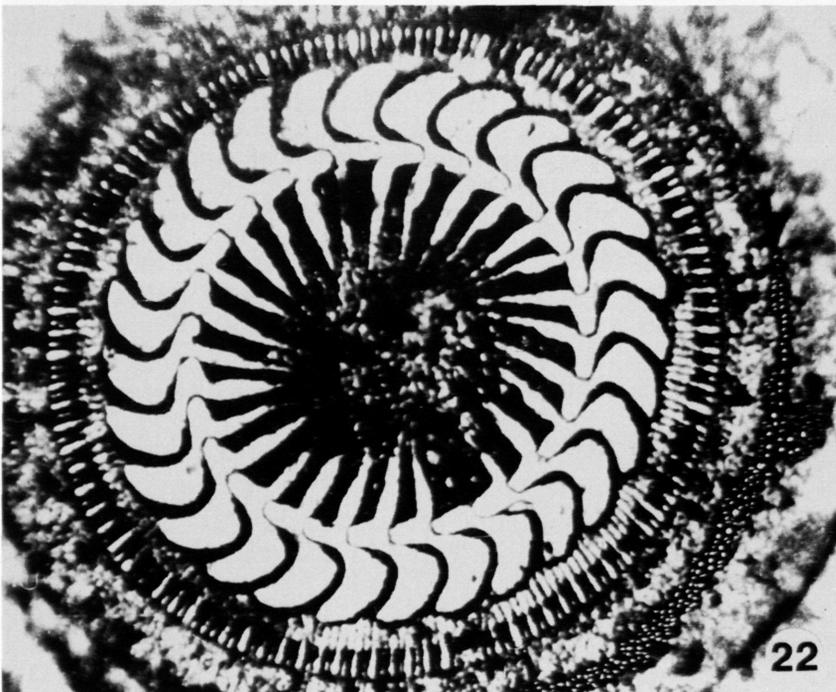
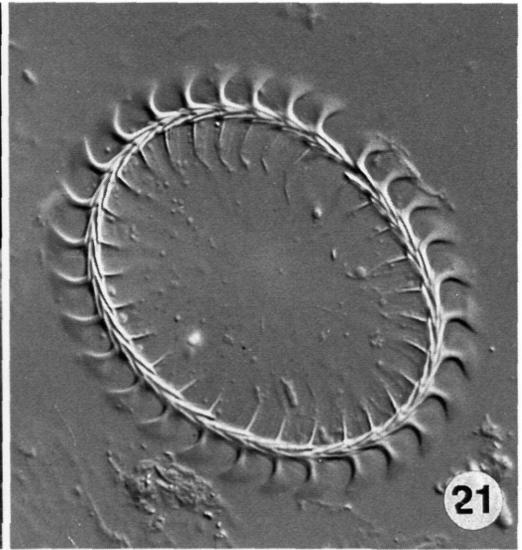
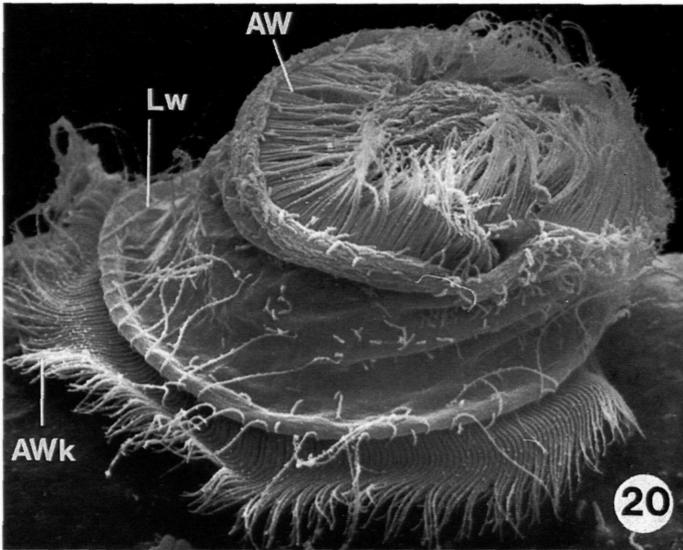
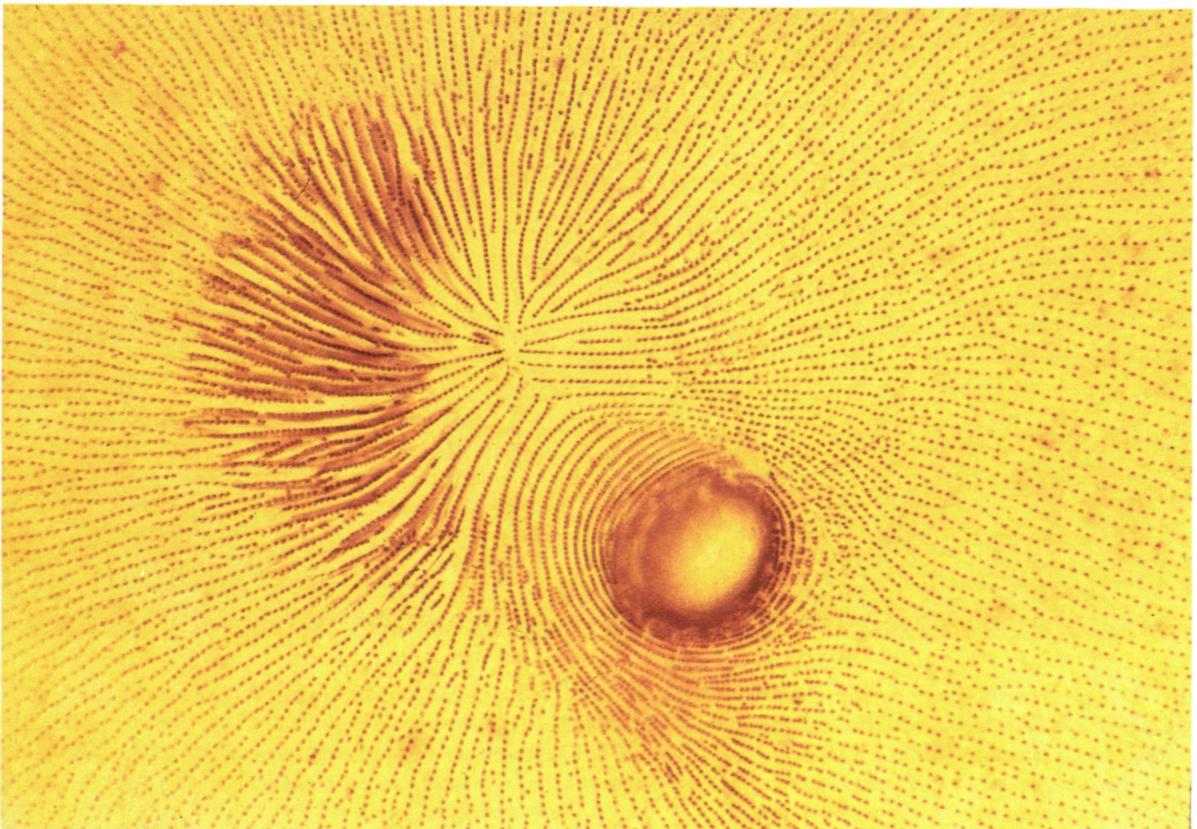
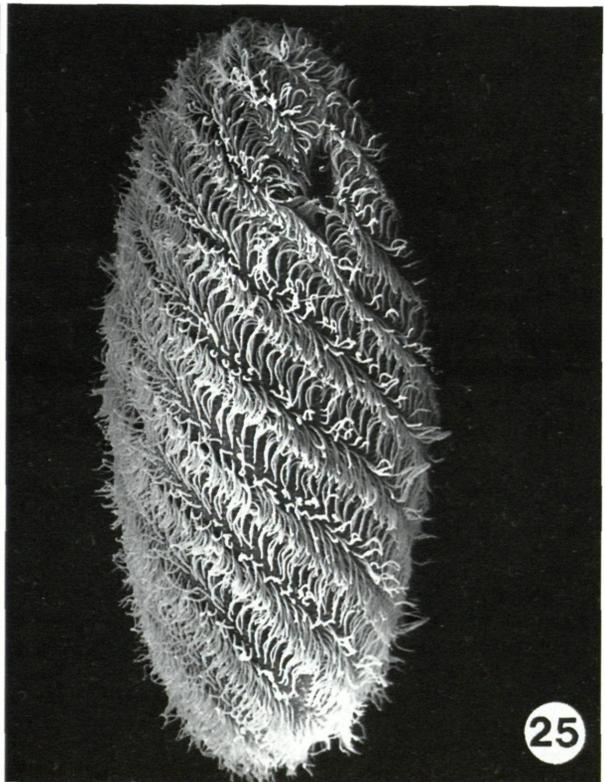


Abb. 20-22: Die Polypenlaus (*Trichodina pediculus*) lebt epizooisch (aufsitzend) auf Süßwasserpolyphen (*Hydra*) und gehört so wie *Hastatella* (Abb. 16, 17) und *Vorticella* (Abb. 23) zu den Glockentierchen. Der Stiel ist aber zu einem komplizierten, schaufelradförmigen Saugnapf umgebildet (Abb. 21), der nach Silbernitratimprägnation ein schönes Ornament bildet (Abb. 22). Die Bewegung auf der *Hydra* erfolgt mit mehreren Wimpernkranzen (AWK, Lw). Mit den Wimpern des Mundes (AW) werden Bakterien aus dem Wasser filtriert.

Abb. 24-26: Die Todeskugel, *Ichthyophthirius multifiliis* ist ein gefährlicher, 200-500 µm großer Hautparasit bei Fischen („Weißpünktchen-Krankheit“). Die dicht stehenden Wimpern bilden beim Schwimmen schöne Wellen. Um den napfförmigen, in Draufsicht kreisförmigen Mund (Pfeil) stehen die Wimpern besonders dicht, was sehr schön nach Silbercarbonatimprägnation erkennbar wird. Die Wimpernreihen der Dorsalseite werden von feinen Fibrillen begleitet und erscheinen daher dunkler. Abbildung 25 zeigt einen harmlosen Verwandten der Todeskugel, nämlich das walzenförmige Augentierchen *Ophryoglena*, das sich von Aas ernährt.



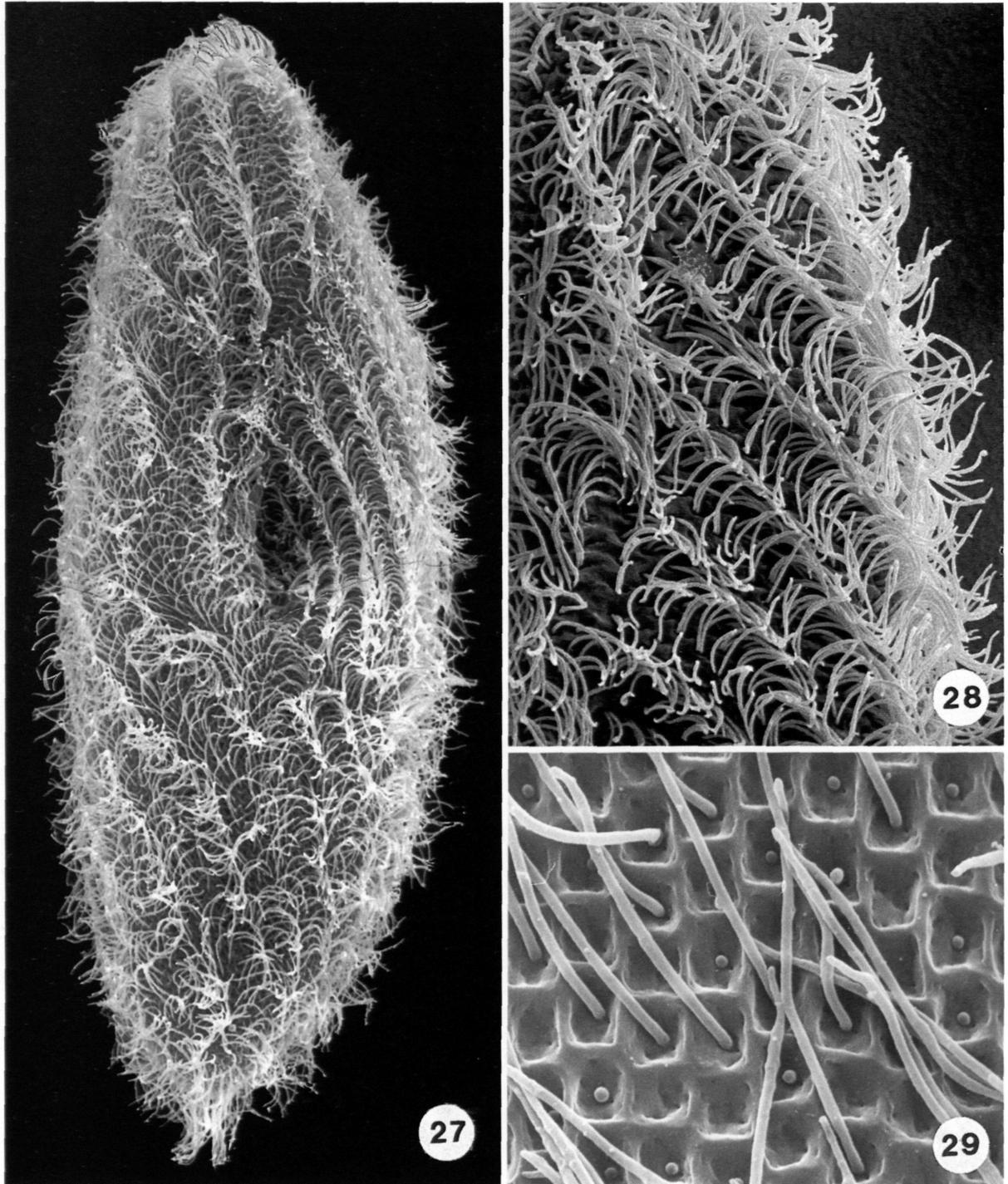


Abb. 27-29: Das etwa 200 μm lange Pantoffeltierchen (*Paramecium aurelia*) lebt im Schlamm von Teichen und in stark verschmutzten Bächen und Flüssen, wo es Bakterien frisst. Beim Schwimmen bilden die Wimpern, die in quaderförmigen Vertiefungen der Pellicula („Haut“) entspringen (Abb. 29), schöne Wellen (Abb. 27). Der Eingang zum Mund befindet sich in der Mitte der Zelle. *Paramecium* ist das „Haustier“ der Protozoenforscher; an die Zehntausend (!) wissenschaftliche Einzelveröffentlichungen gibt es darüber. Sie haben wesentlich zum Verständnis allgemeiner zellbiologischer Probleme beigetragen.

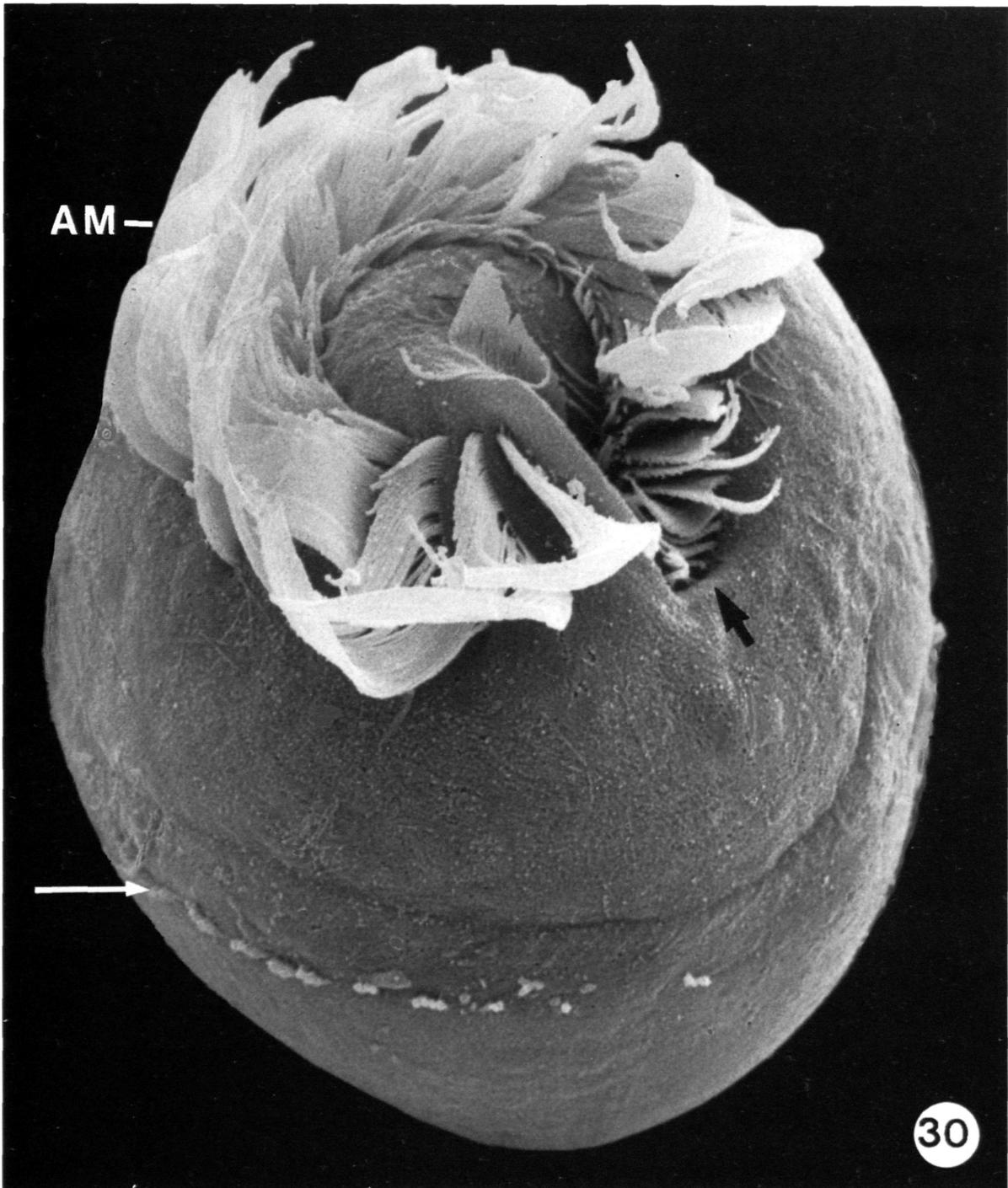


Abb. 30: Das 60 μm große Wirbeltierchen (*Strombidium viride*) lebt im freien Wasser unserer Seen, ist also ein planktisches Wimpertier, das am Vorderende mächtige Membranellen (AM, Wimperplatten) hat, die Algen und Bakterien in den Mund (schwarzer Pfeil) strudeln. Der Rest des Körpers ist bis auf einen Borstenkranz (weißer Pfeil) unbewimpert. Als Plankton bezeichnet man die im Wasser schwebenden Einzeller. Da sie etwas schwerer als Wasser sind, haben sie besondere morphologische und physiologische Anpassungen entwickelt, um den physikalischen Gesetzen auszuweichen, also nicht abzusinken. Oberflächenvergrößerung durch Körperforsätze (*Hastatella*, Abb. 16, 17) oder Einlagerung von spezifisch leichteren Gasbläschen und Fetttropfen.

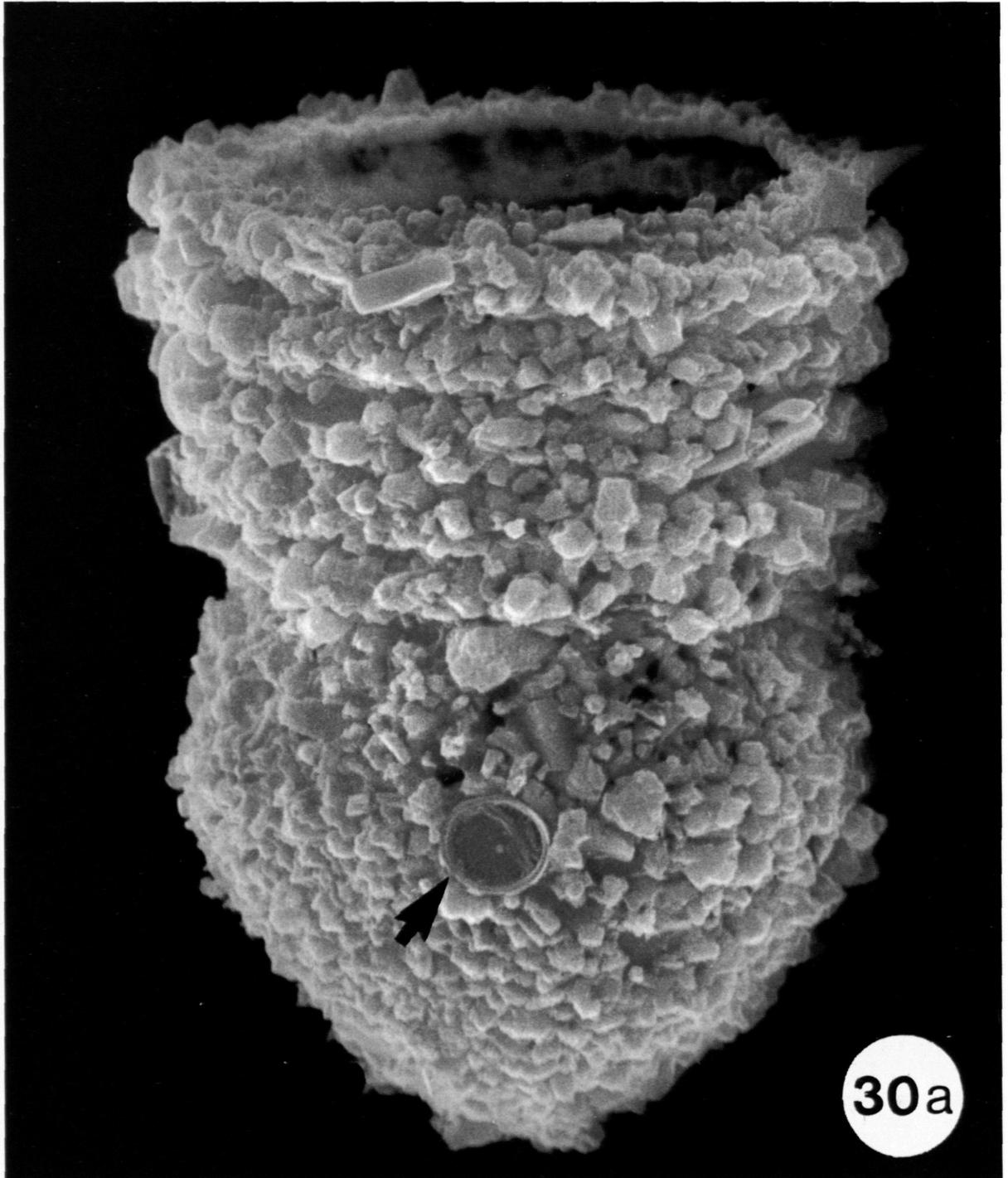


Abb. 30a: Das 50 μm große Gehäuse des schwimmenden Vasantierchens (*Codonella cratera*) ist aus winzigen Sandkörnchen und Kieselalgen (Pfeil) gebaut. Der Bewohner ähnelt ökologisch und morphologisch *Strombidium viride* (Abb. 30), ist also ein planktisches Ciliat mit mächtigen adoralen Membranellen. Das im Querschnitt kreisförmige Gehäuse, das oben offen ist, wird von hoch spezialisierten Wimpern geformt. Gehäuse sind bei den tierischen und pflanzlichen Einzellern weit verbreitet (siehe Beitrag über die Bodenprotozoen) und haben in den meisten Fällen wohl eine Schutzfunktion.

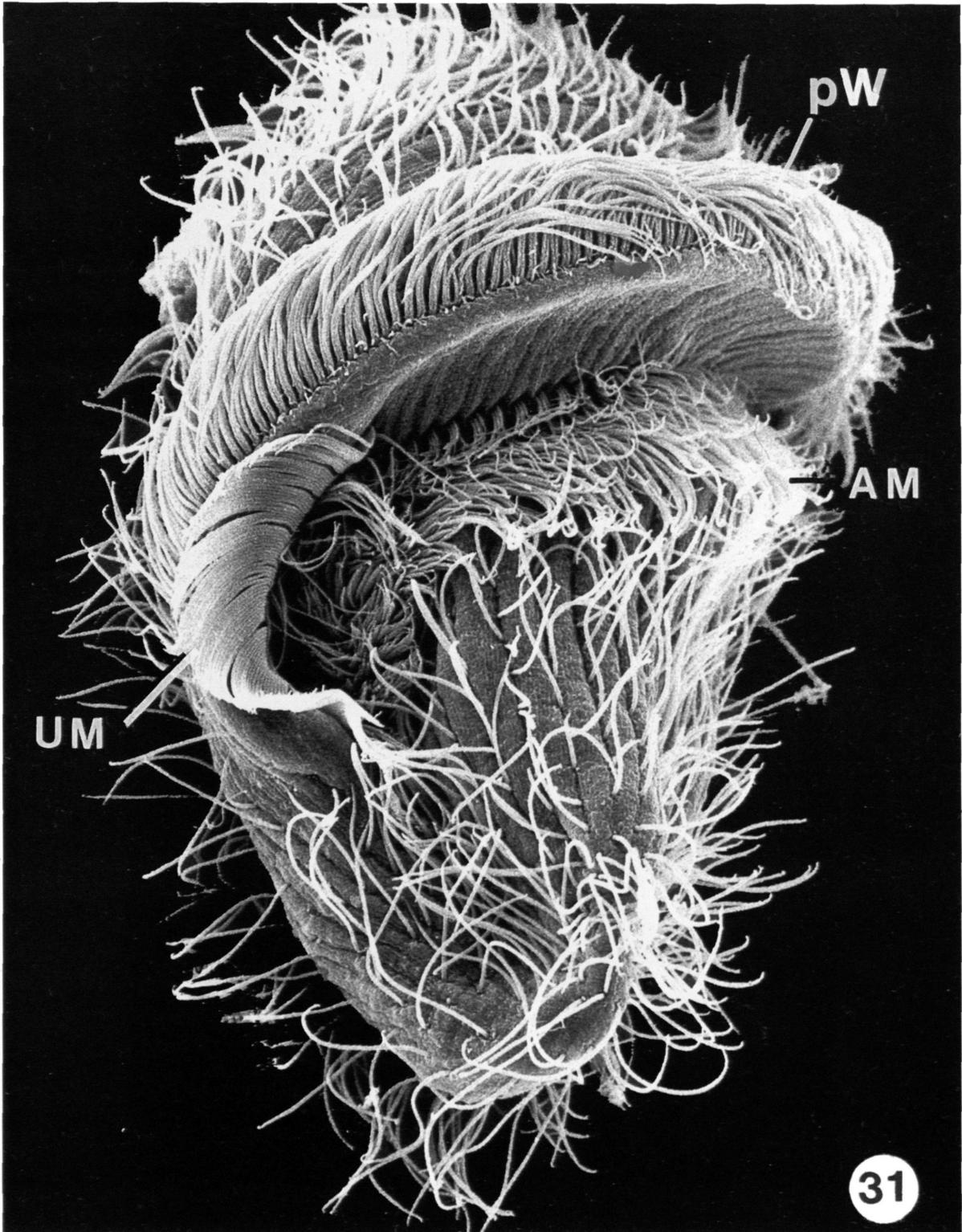


Abb. 31: Das 100 µm große Helmtierchen (*Metopus*) findet man nur im anaeroben (sauerstofffreien) Faulschlamm. Die große adorale Membranellenzone (AM) wird von einem perizonalen Wimpernstreifen (pW) und einer undulierenden Membran (UM) begleitet. Präparation und Aufnahme: Prof. C. F. BARDELE (Univ. Tübingen).

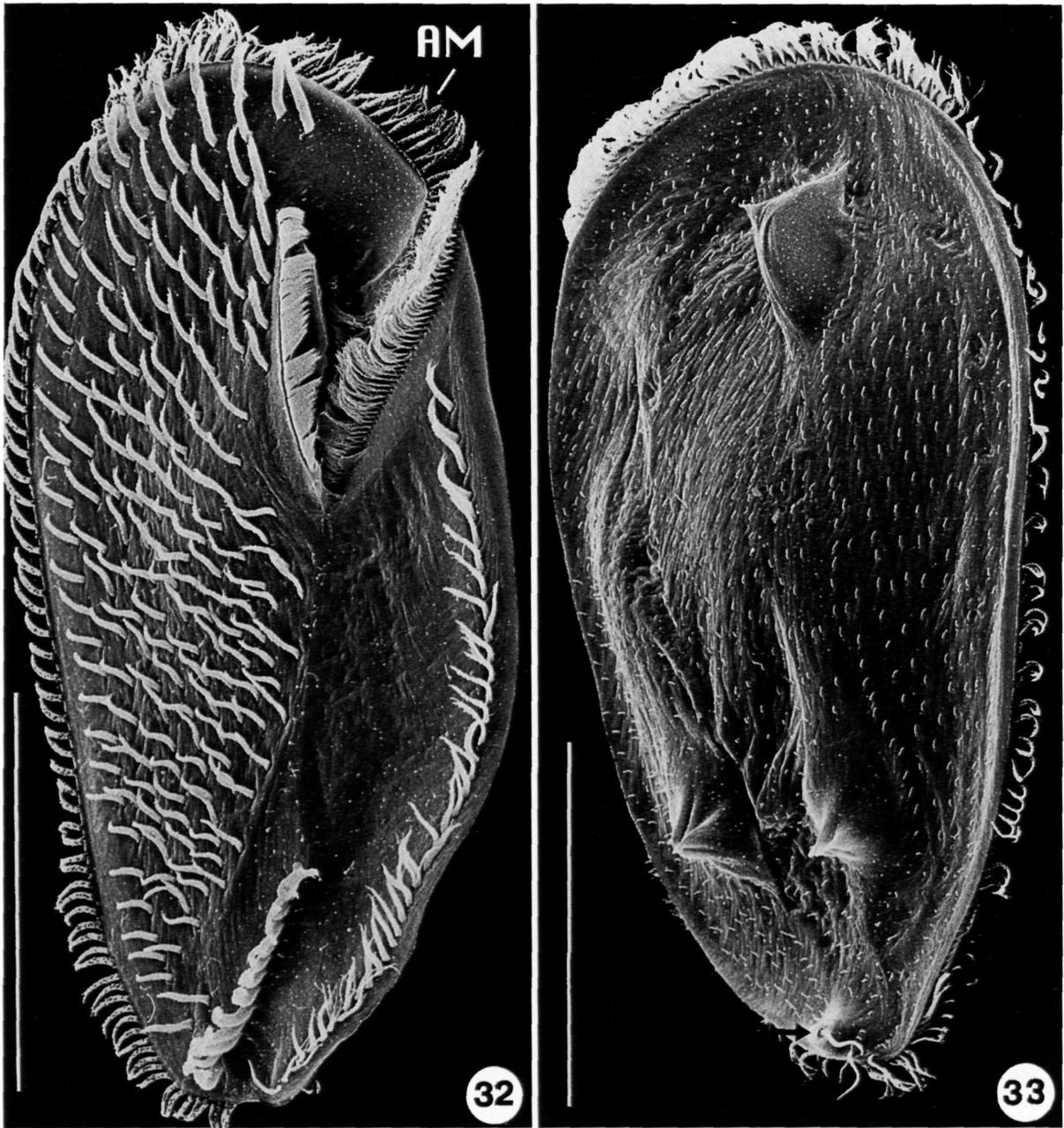
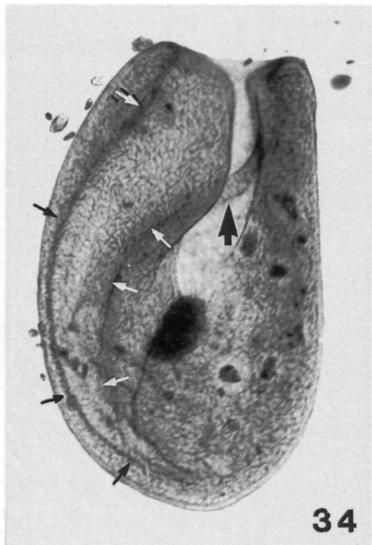


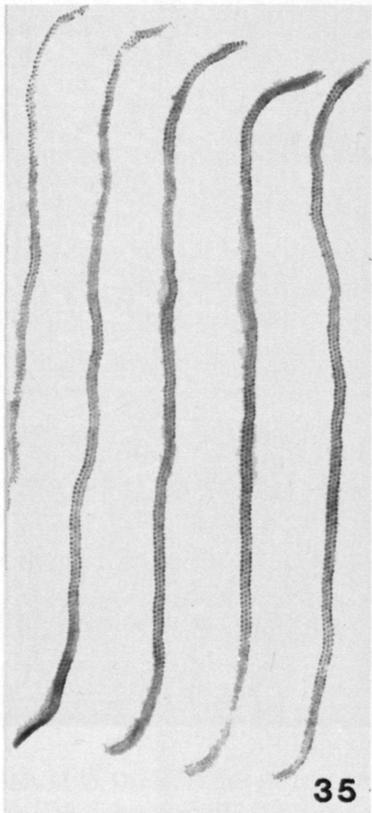
Abb. 32, 33: Das bis 400 µm große, vierhörnige Lauftierchen (*Onychodromus quadricornutus*) entdeckten wir in einem Aquarium in den USA. Später wurde es in China und in Indien gefunden. Dieses schöne, hypotriche Wimpertier ist ein Allesfresser und verschont bei Nahrungsmangel auch die eigenen Artgenossen nicht, wird also zum Kannibalen. Auf der Ventralseite sind viele in Reihen angeordnete Cirren (Bündel verklebter Wimpern) und das große Mundfeld, das links von der adoralen Membranellenzone (AM), rechts von der undulierenden Membran begrenzt wird. Die Membranellen strudeln die Nahrung in den Mund. Auf der Dorsalseite befinden sich die vier namensgebenden Hörner (das kleinste ist am Hinterende, Pfeil) und viele Reihen von kurzen Wimpern (Dorsalborsten). Experimente zeigten, daß die Hörner einen gewissen Schutz vor den kannibalistischen Artgenossen bieten, indem sie die Sperigkeit erhöhen. Die Maßstriche zeigen 100 µm.



Abb. 33a: Das 120 µm große Moos-Lauftierchen (*Stemia sphagnicola*) entdeckten wir in einem kleinen Moor in Salzburg. Dieses hübsche Ciliat ähnelt im Rasterelektronenmikroskop dem vierhörigen Lauftierchen (Abb. 32, 33). Hier ist es mit Protargol versilbert, wodurch sich die Basalkörper der Wimpernplatten (Cirren, Membranellen) scharf vom heller gefärbten Cytoplasma abheben. Im rechten oberen Quadrant befindet sich das Mundfeld, das links von der großen adoralen Membranellenzone, rechts von zwei undulierenden Membranen (eine bogen-, die andere sinusförmig) begrenzt wird. Die scharf imprägnierten kleinen Rhomben sind die Basen der Cirren. Die beiden Großkern(Makronucleus)-Segmente liegen in der Mitte der Zelle.



34



35



36

Abb. 34-36: Das Börsentierchen (*Bursaria truncatella*) ist mit bis zu 1 mm Länge ein Riese unter den Wimpertieren. Es frißt sogar kleine Vielzeller, z. B. Rädertiere. Das Vorderende wird von der Mundöffnung eingenommen (Abb. 36), die in eine riesige, hornförmige Mundhöhle (Vestibulum) übergeht, die in Abbildung 34 durch kleine Pfeile begrenzt ist. An der linken Wand der Mundhöhle befindet sich eine große adorale Organellenzone (große Pfeile), die aus vielen Wimpernplatten besteht, von denen einige in Abbildung 35 stark vergrößert nach Silberimprägnation dargestellt sind. Die krause Oberfläche in Abbildung 36 wird durch Tausende Wimpern verursacht, die nur undeutlich erkennbar sind, weil dieses große Ciliat in der Übersicht nur sehr schwach vergrößert (350fach) abgebildet werden kann.