

ÜBER DEN FEINBAU DER PYRENOIDE VON *COSMARIUM*  
*LAEVE* UND *CLOSTERIUM NAVICULA*

Von

IOANNES TSEKOS

(Aus dem Botanischen Institut der Universität Thessaloniki)

## I. EINLEITUNG

Die Pyrenoide sind rundliche, stark lichtbrechende Körper, die man bei zahlreichen Algen und dem Lebermoos *Anthoceros* je einen oder mehrere im Chromatophor finden kann (ΔΙΑΝΝΕΑΙΔΗΣ 1966).

Aus lichtmikroskopischen Beobachtungen (CHADEFAUD 1936, 1941) ergibt sich, daß die Pyrenoide stärkebildender Algen aus drei Elementen zusammengesetzt sind: 1. Ein Pyrenophor plastidialer Natur. 2. Ein oder mehrere Pyrenosomen, die reich an Proteiden und eventuell auch an Lipoiden sind. 3. Eine Stärkehülle, die mindestens an einer Stelle unterbrochen ist, so daß das Pyrenophor eine Verbindung mit der übrigen Plastidensubstanz hat.

Es ist bisher noch nicht festgestellt, ob die Pyrenoide lebende Gebilde oder leblose Zelleinschlüsse sind. Nach HOFFMAN (1968) entstehen die Pyrenoide der Zoosporen von *Oedogonium cardiacum* sehr wahrscheinlich *de novo*.

Nach den bisherigen elektronenmikroskopischen Untersuchungen sind hinsichtlich der feinen Struktur drei Pyrenoidgruppen zu unterscheiden (SCHUSSNIG 1960). In der ersten Gruppe stellen die Pyrenoide lokale Verdichtungen der Grundsubstanz des Plastiden - Stroma dar und werden von zahlreichen Lamellen durchgezogen, wie z.B. bei *Euglena* (WOLKEN und PALADE 1922, UEDA 1958, FREY - WYSSLING und MÜHLETHALER 1960, MÜHLETHALER 1960, GIBBS 1960), den Conjugaten (LEYON 1954, 1956, BUTTERFASZ 1957, CHARDARD und ROUILLER 1957, DRAWERT und MIX 1962), *Trachelomonas* (UEDA 1960) und *Hydrurus foetidus* (HOVASSE und JOYON 1960). Die Pyrenoide der zweiten Gruppe zeigen eine gleichmäßige, globuläre Struktur; die Lamellen des Chloroplasten gehen meist seitlich am Pyrenophor vorbei, wie z.B. bei *Enteromorpha*, *Cladophora* (LEYON 1954), *Chlorella* (ALBERTSSON und LEYON 1954), *Chromulina pusilla* (MANTON 1959), *Porphyridium cruentum* (BRODY und VATTER 1959, GANTT und CONTI 1965) *Porphyridium aerugineum* (EDWARDS 1966, GANTT, EDWARDS und CONTI 1968), *Rhodochorton floridulum* (MITRAKOS 1960), *Pediastrum biradiatum* (MONER und CHAPMAN 1960) und *Rhopalocystis oleifera* (SCHUSSNIG 1958).

In der dritten Gruppe soll das Pyrenophor nicht aus Lamellen, sondern aus Tubuli durchziehen (SAGER und PALADE 1954, 1957). Die dichte Pyrenoidgrundsubstanz wird je nach Art als mehr fibrillär (KAJA 1957, SCHUSSNIG 1958) oder mehr granulär (SAGER und PALADE 1957, FREY-WYSSLING und MÜHLETHALER 1960) beschrieben. Typische Vertreter dieser Gruppe ist *Chlamydomonas reinhardi*.

## II. MATERIAL UND METHODE

Als Versuchsmaterial dienten reine Kulturen der einzelligen Conjugaten (Desmidiaceen) *Cosmarium laeve*<sup>1)</sup> und *Closterium navicula*. Diese Algen wurden 4 Stunden in Glutaraldehyd (5% ig mit Phosphatpuffer auf pH  $\sim$ 6,8 eingestellt), anschliessend in 1% OsO<sub>4</sub> fixiert und in Epon eingebettet. Die mit Reichert Ultramikrotom hergestellten 500 bis 800 Å dicken Schnitte wurden mit Bleicitrat (REYNOLDS 1963) nachkontrastiert und mit den Siemens Elmiskopen I und II untersucht.

## III. LICHTMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN

Die untersuchten Desmidiaceen - Arten besitzen zwei Pyrenoide im Chromatophor. Diese sind je ein in jedem halben Teil der Zelle, wie es sich aus den Abb. 1 und 2 ergibt. Sie weisen meist eine allseitige Stärkehülle auf, die sich aus einzelnen Stärkekörnern zusammensetzt. Die stärkefreien Pyrenoide zeigen eine runde Form und eine gleichmäßige Struktur des Pyrenophors. Einzelne Pyrenosomen sind nicht zu beobachten.

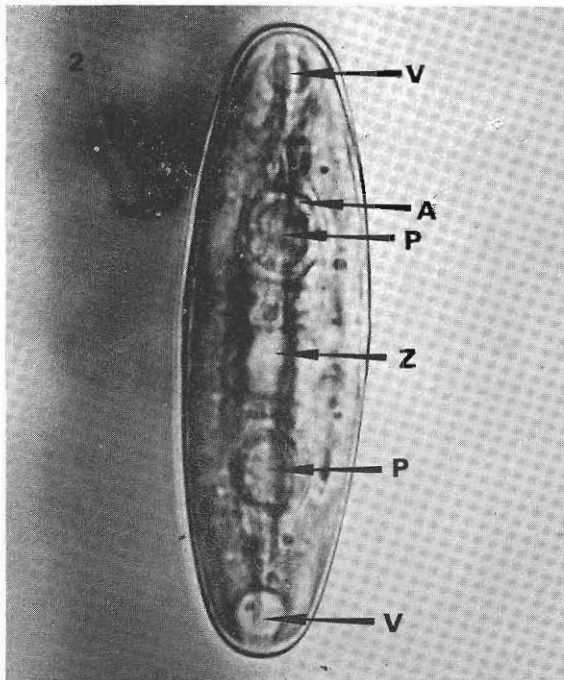
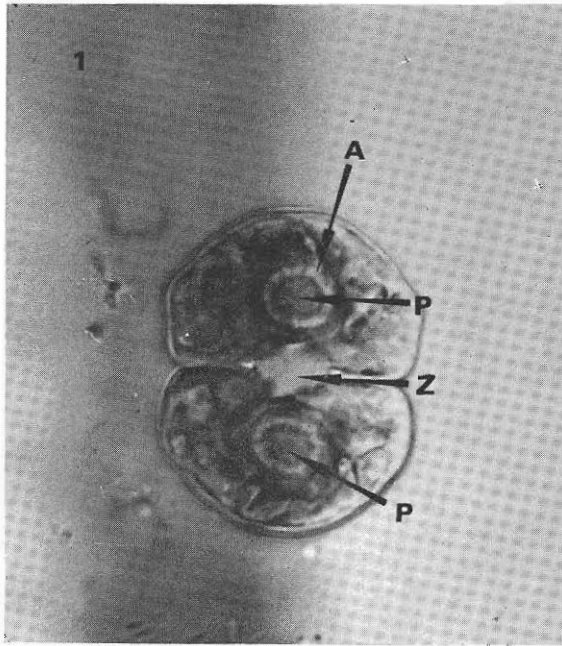
Unter dem Fluoreszenzmikroskop scheinen die Pyrenophoren von *Cosmarium laeve* und *Closterium navicula* chlorophyllfrei zu sein.

## IV. ELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN

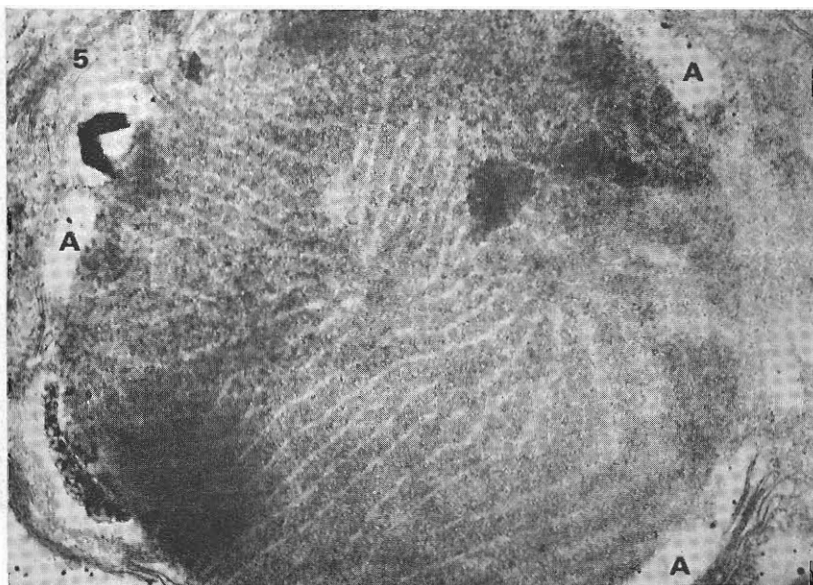
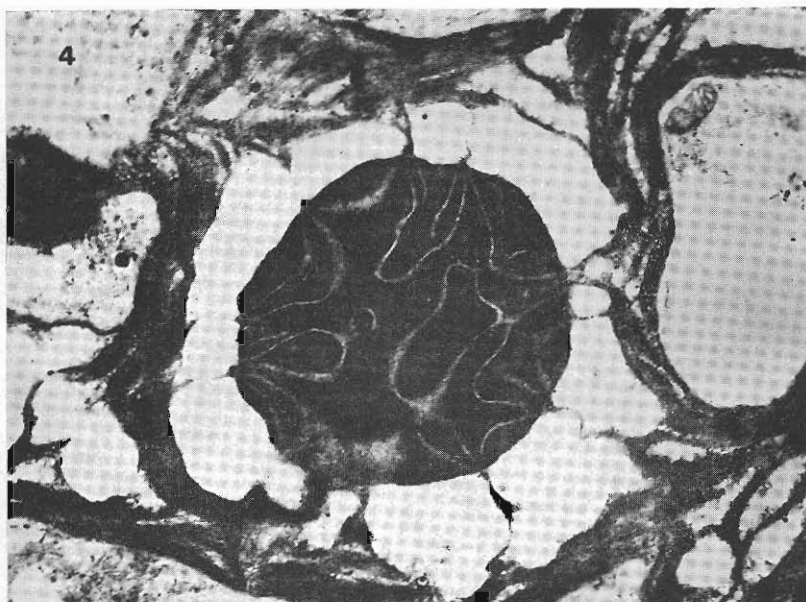
Die Pyrenoidlamellen sind deutlich aus der osmiophilen Pyrenoidgrundsubstanz zu erkennen (Abb. 3, 4, 5 und 6). Aus den Abb. 3, 5, 7, 8 und 9 geht deutlich hervor, daß die Lamellen doppelt sind. Eine helle, osmiophile Zwischenschicht wird nach beiden Seiten von je einer dunklen Schicht begrenzt. In Wirklichkeit ist die ganze Lamelle drei-

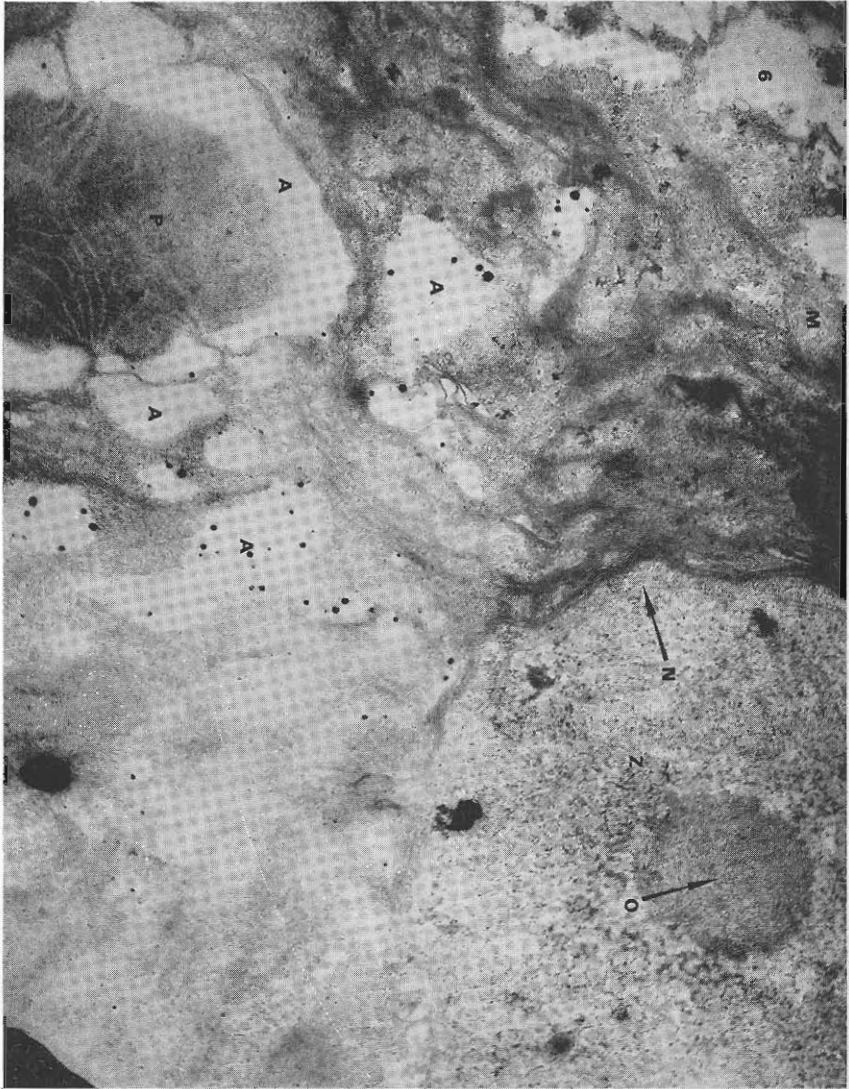
---

1. Fr. Dr. M. Mix (Staatsinstitut für Allgemeine Botanik der Universität Hamburg) danke ich für die Überlassung der Kulturen von *Cosmarium laeve* und *Closterium navicula*.

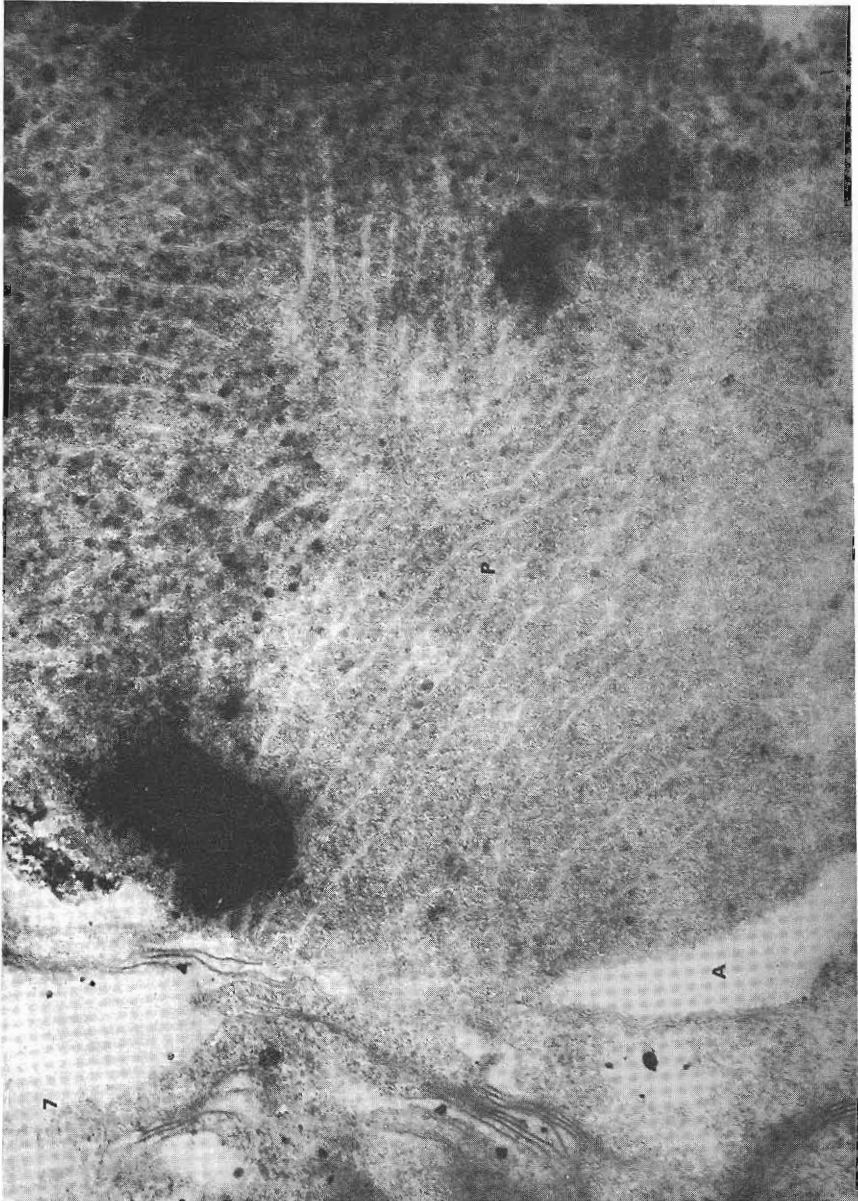




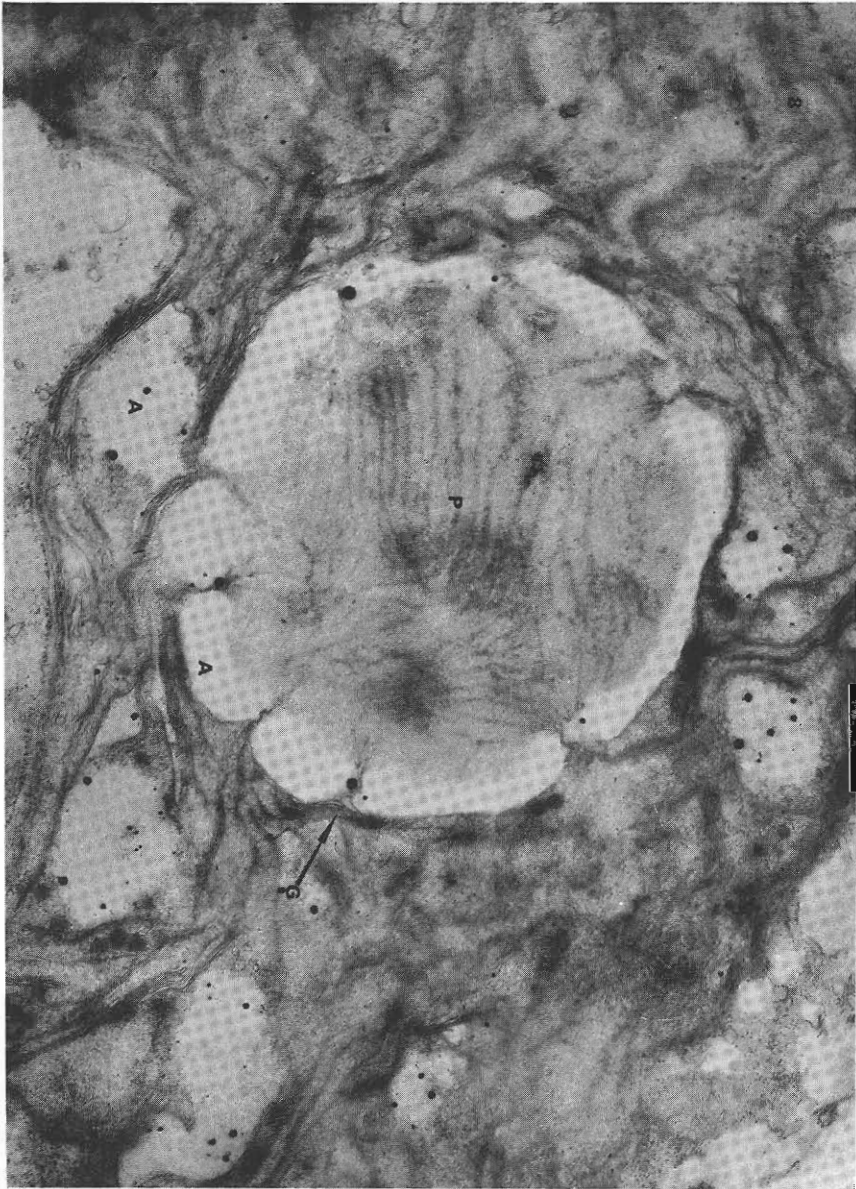


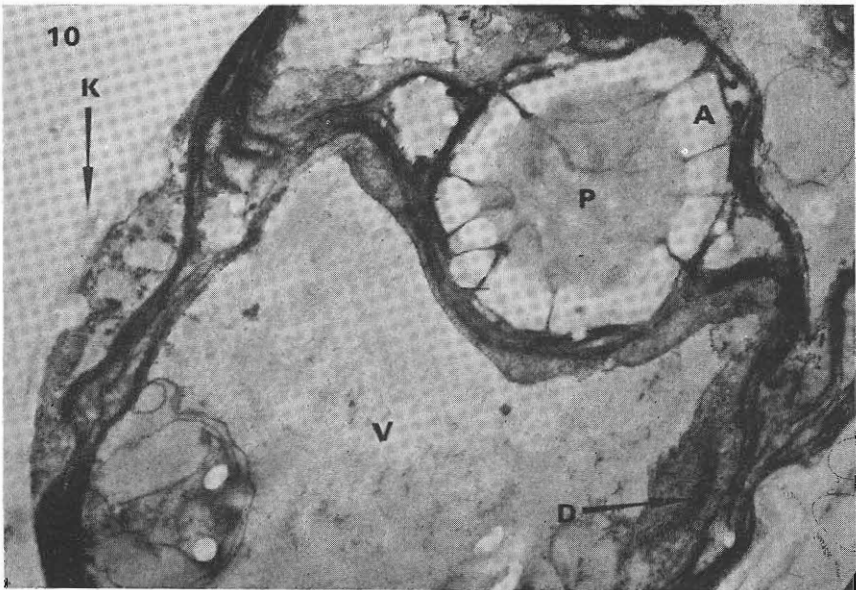
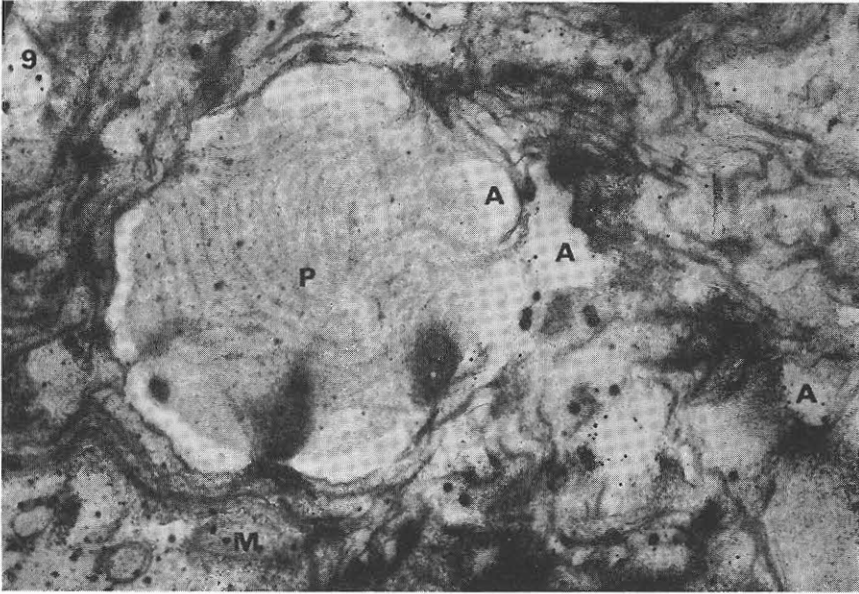


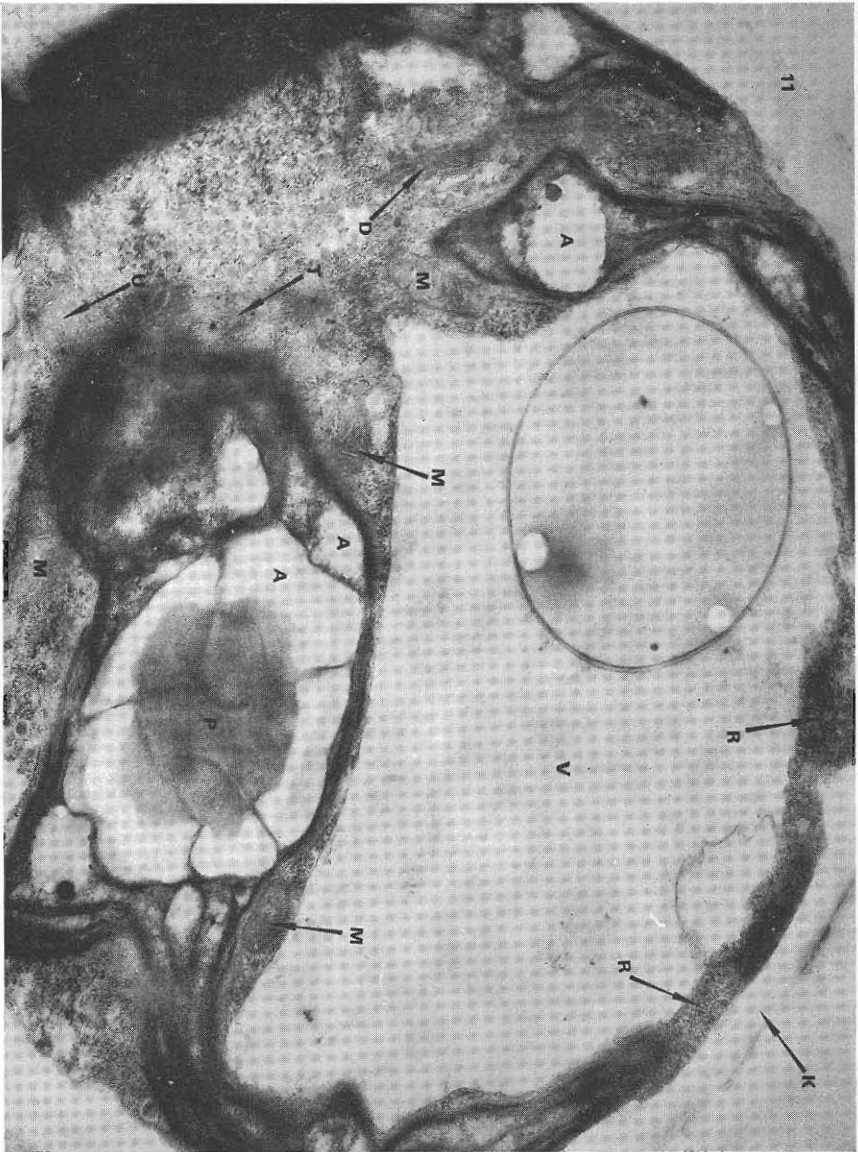


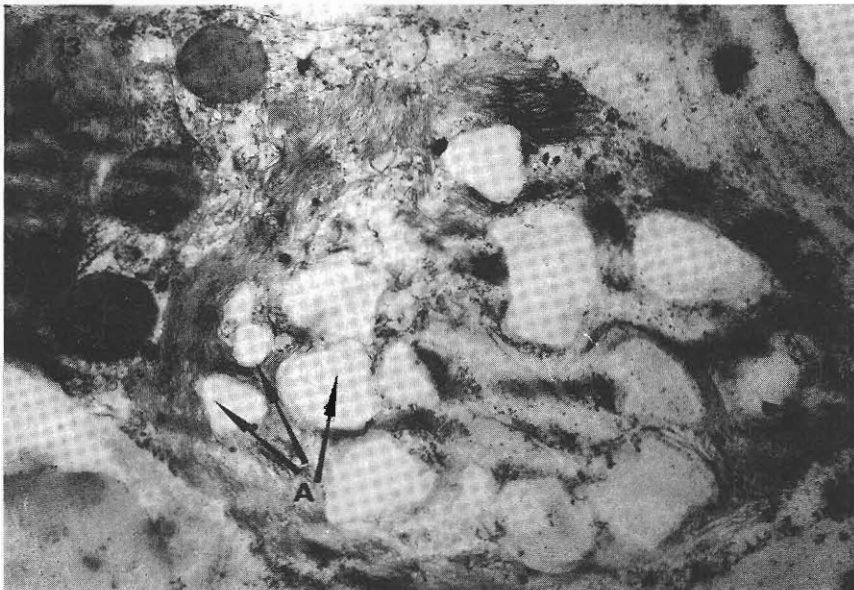
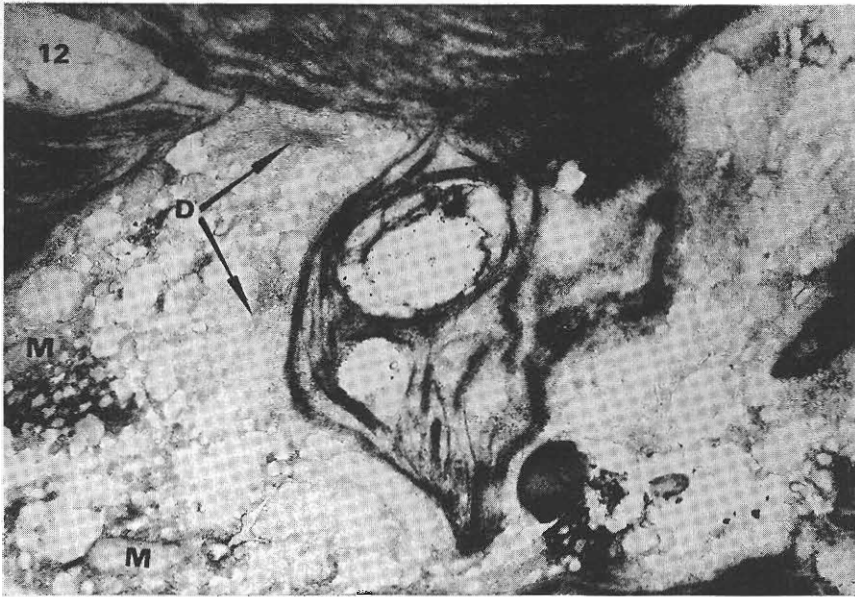


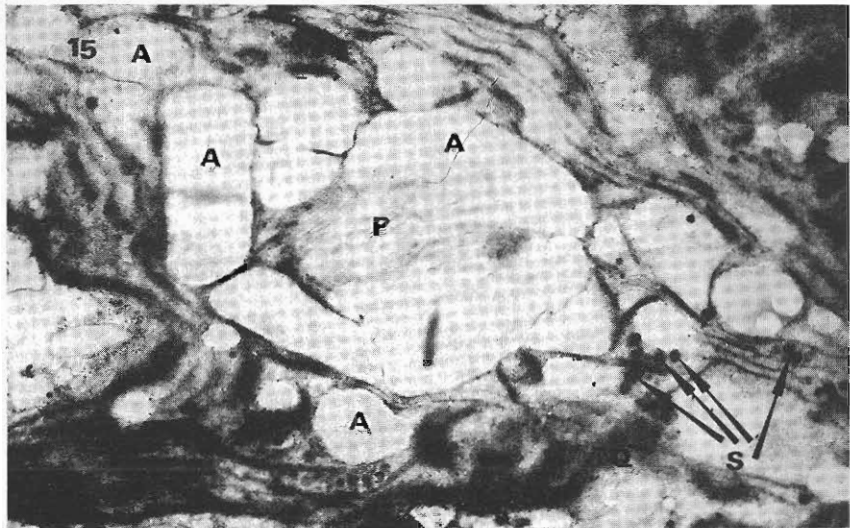
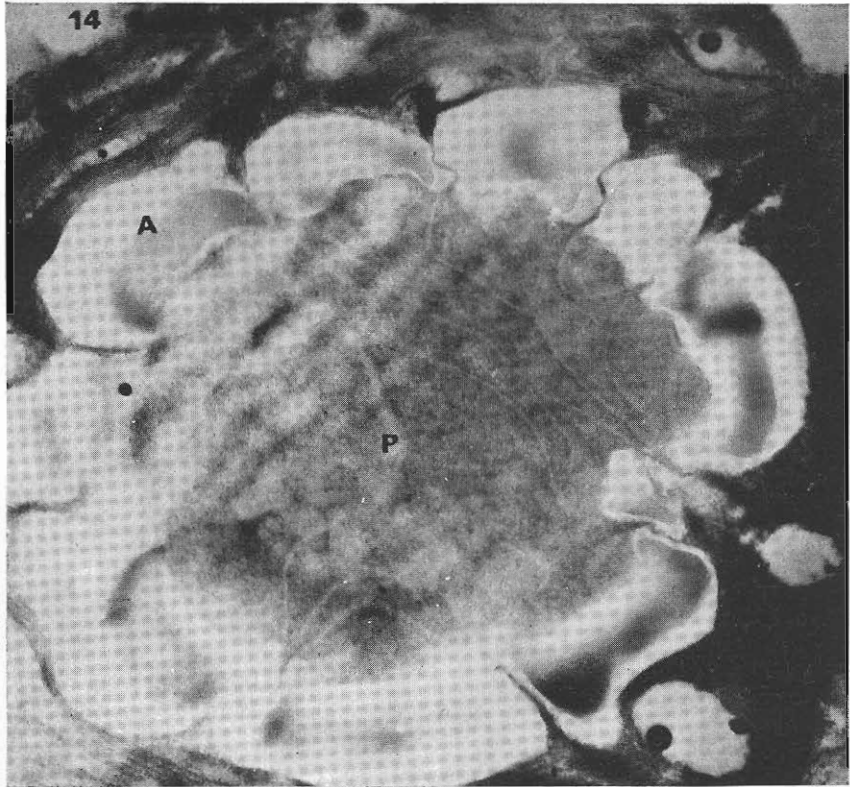














schichtig. In einem Schnitt ist die Anzahl der Lamellen, die ein Pyrenoid durchziehen, bei *Closterium navicula* deutlich größer als bei *Cosmarium laeve*; bei einem und demselben Objekt ist die Lamellenanzahl vom Schnitt zum Schnitt sehr unterschiedlich. Hier soll es sich einerseits um reelle Unterschiede zwischen den einzelnen Pyrenoiden handeln, andererseits spielt auch die Schnittrichtung eine bedeutende Rolle. Die Lamellen ziehen die Pyrenoidgrundsubstanz mehr oder weniger parallel durch (Abb. 5, 6, 7, und 8). Man kann auch recht verschiedene Anordnungen der Lamellen im Pyrenoid beobachten (Abb. 4 und 10). Im allgemeinen scheinen die Lamellen das ganze Pyrenoid zu durchlaufen. Bei einigen Fällen enden gewisse Lamellen blind im Pyrenophor oder erscheinen unterbrochen (Abb. 4, 5 und 10). Hier ist sehr schwierig zu entscheiden, ob es sich wirklich um Lamellenenden handelt oder ob sich die entsprechenden Lamellen in einer anderen Schnittebene fortsetzen.

Die meisten Lamellen kommen aus dem Chloroplasten, ziehen das Pyrenoid durch und gehen auch wieder in Chloroplasten über. Die Verbindung der Chloroplastenlamellen mit denen des Pyrenophors kommt bei den stärkeführenden Pyrenoiden zwischen den dicht gelagerten Stärkekörnern zustande (Abb. 3, 4, 6, 8, 10 und 11). Häufig gehen die Pyrenoidlamellen von einem Granum aus (Abb. 3, 8 und 9).

Die Pyrenoidlamellen sind sehr wahrscheinlich eine Fortsetzung der normalen Chloroplastenlamellen in das Pyrenophor, so daß sie wohl kaum ein strukturspezifisches Element der Pyrenoide darstellen. Im Gegensatz zu den Pyrenoidlamellen stellt die Pyrenoidgrundsubstanz ein strukturspezifisches Element des Pyrenoids dar. Die Pyrenoidgrundsubstanz scheint dichter und kompakter als die der Chloroplasten zu sein und sie zeichnet sich durch eine sehr starke Osmiophilie (Abb. 3, 5, 6, 7 und 11). Sie ist gleichmäßig granulär aufgebaut (Abb. 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 und 11). Bei allen Aufnahmen stellt die Pyrenoidgrundsubstanz den Hauptbestandteil des Pyrenoids dar.

Es scheint kein Unterschied zwischen den Pyrenoidstärkekörnern und den des Plastidenstroma vorhanden zu sein (Abb. 6, 8, 11, 12, 13 und 15). Die Stärkebildung scheint sich auf die Peripherie der Pyrenoide und dort auf den Bereich der Grundsubstanz zu beschränken. Stärkebildung innerhalb der Doppellamellen ist bisher nicht beobachtet worden (vgl. DRAWERT und MIX 1962 und die dort angegebene Literatur). Ebenso scheint auch keine Stärke im Innern der Pyrenoide zu entstehen. Die Stärke ist meist nicht osmiophil. Bei einigen Fällen kommen im Innern

der Stärkekörner osmiophile Konturen (Abb. 14), die strukturbedingte Kontraste darstellen.

#### V. RÜCKSCHLÜSSE

Aus den elektronenmikroskopischen Untersuchungen an den Desmidiaceen - Arten *Cosmarium laeve* und *Closterium navicula* geht hervor, daß die Pyrenoidgrundsubstanz hinsichtlich der feinen Struktur gleichmäßig granulär ein strukturspezifisches Element der Pyrenoide darstellt (vgl. auch DRAWERT und MIX 1962, UEDA 1963). Ob der Unterschied zwischen der Pyrenoidgrundsubstanz und der des Plastidenstroma nur ein Verdichtung - Unterschied ist oder etwas anderes, kann man nicht aussagen.

Die Stärke läßt keinen Unterschied zu der des Stroma erkennen. Die Pyrenoidlamellen sind eine Fortsetzung der Chloroplastenlamellen. Damit ist nicht ausgeschlossen, daß die Grenzflächen der Pyrenoidlamellen mit pyrenoidspezifischen Enzymsystemen besetzt sind. Das scheint am wahrscheinlichsten zu sein, denn auch Grana- und Stromalamellen sind ohne Zweifel in ihrem Besatz mit Chlorophyll und Enzymen unterschiedlich, weisen aber sonst die gleiche Grundstruktur der Doppellamelle auf.

Aus den Abbildungen ergibt sich, daß die Pyrenoide durch pyrenoidspezifische Enzymsysteme, die an den Grenzflächen der Pyrenoidlamellen lokalisiert sind, physiologisch ausgezeichnete Orte innerhalb der Plastiden für die Synthese von Stärke sind. Wenn in gewissen Fällen die Reservestoffe nicht direkt am Pyrenoid abgelagert werden, so ist das kein Grund, ihnen diese Funktion abzuspochen.

In Übereinstimmung mit den Angaben von DRAWERT und MIX (1962) und im Gegensatz zu den Angaben von CZURDA (1928) findet die Ablagerung der Stärke bei Desmidiaceen - Arten *Cosmarium laeve* und *Closterium navicula* an der Peripherie der Pyrenoide statt.

Aus den elektronenmikroskopischen Abbildungen ist zu entnehmen, daß Pyrenosomen nicht zu existieren scheinen (vgl. auch DRAWERT und MIX 1962).

#### ZUSAMMENFASSUNG

Die Pyrenoide von *Cosmarium laeve* und *Closterium navicula* sind aus einer Grundsubstanz, einem Doppellamellensystem und einer Hülle von dicht abgelagerten einzelnen Stärkekörnern zusammengesetzt. Die



Pyrenophore sind chlorophyllfrei. Die Pyrenoidgrundsubstanz ist dichter und kompakter als die des übrigen Chloroplasten. Die Pyrenoidgrundsubstanz zeichnet sich im allgemeinen durch eine stärkere Osmophilie als die Grundsubstanz des übrigen Chloroplasten aus und sie wird durch eine Stärkehülle von ihr begrenzt. Die Grundsubstanz stellt ein strukturspezifisches Element der Pyrenoide dar. Das Doppellamellensystem von Pyrenoiden ist eine Fortsetzung der Chloroplastenlamellen in das Pyrenophor. Die Anzahl der Lamellen in den Pyrenoiden von *Closterium navicula* ist deutlich größer als die von *Cosmarium laeve*. Die Zahl der Lamellen in einem Pyrenoid einer und derselben Art ist sehr unterschiedlich.

Am wahrscheinlichsten ist anzunehmen, daß die Pyrenoide durch pyrenoidspezifische Enzymsysteme, die an den Grenzflächen der Pyrenoidlamellen lokalisiert sind, physiologisch ausgezeichnete Orte innerhalb der Plastiden für die Synthese von Stärke sind. Die Stärkebildung scheint sich auf den Bereich der Pyrenoidgrundsubstanz zu beschränken. Eine Stärkebildung innerhalb der Doppellamellen wurde nicht beobachtet.

#### Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Ι Σ

Ἡρευνήθη ἡ λεπτή δομή τῶν πυρηνωδῶν τῶν μονοκυττάρων φυκῶν *Cosmarium laeve* καὶ *Closterium navicula* τῆς οἰκογενείας τῶν Desmidiaceae.

Τὰ πυρηνώδη ἀμφοτέρων τῶν μελετηθέντων εἰδῶν συνίστανται ἐκ μιᾶς θεμελιώδους οὐσίας, συστήματος διπλῶν μεμβρανῶν - τὰ δύο ὁμοῦ αὐτὰ στοιχεῖα συγκροτοῦν τὸ πυρηνοφόρον - καὶ ἑνὸς περιβλήματος ἐκ μεμονωμένων ἀμυλοκόκκων πυκνῶς ἀποτιθεμένων. Πυρηνοσώματα ὡς μονάδες δομῆς τοῦ πυρηνοφόρου, ὡς ἐκ τῆς ἐρεύνης ὑπὸ τὸ ἠλεκτρονικὸν μικροσκόπιον προέκυψεν, δὲν ὑφίστανται.

Ἡ θεμελιώδης οὐσία τῶν πυρηνωδῶν εἶναι πυκνοτέρας καὶ συμπαγεστέρας ὑφῆς τῆς τοῦ πλαστιδιακοῦ στρώματος. Αὕτη δεικνύει κατὰ κανόνα σχεδὸν ἰσχυροτέραν ὁσμιοφιλίαν ἐν σχέσει πρὸς τὴν θεμελιώδη οὐσίαν τοῦ πλαστιδιακοῦ στρώματος, ἐκ τῆς ὁποίας ἀφορίζεται ὑπὸ τῶν περιβαλλόντων τὸ πυρηνώδες ἀμυλοκόκκων. Ἡ θεμελιώδης οὐσία ἀποτελεῖ τὸ χαρακτηριστικὸν δομικὸν στοιχεῖον τῶν πυρηνωδῶν. Τὸ σύστημα τῶν διπλῶν μεμβρανῶν τῶν πυρηνωδῶν εἶναι συνέχεια αὐτοῦ τοῦ χλωροπλάστου. Ὁ ἀριθμὸς τῶν μεμβρανῶν εἰς τὰ πυρηνώδη τοῦ *Closterium navicula* εἶναι σαφῶς μεγαλύτερος αὐτοῦ τοῦ *Cosmarium laeve*. Ὁ ἀριθμὸς δὲ τῶν μεμβρανῶν διὰ τὸ αὐτὸ εἶδος ποικίλλει ἀπὸ τομῆς εἰς τομῆν.

Μελέτη ὑπὸ τὸ φθοριστικὸν μικροσκόπιον ἔδειξεν ὅτι τὰ πυρηνοφόρα τῶν *Cosmarium laeve* καὶ *Closterium navicula* δὲν φέρουν χλωροφύλλην.

Τὰ πυρηνώδη κατὰ πᾶσαν πιθανότητα διὰ τοῦ ἐνζυματικοῦ αὐτῶν συστήματος, τὸ ὁποῖον ἀπαντᾶται εἰς τὰς ὀριακὰς ἐπιφανείας τῶν διπλῶν μεμβρανῶν εἶναι ἀπὸ φυσιολογικῆς ἀπόψεως σημαντικοὶ τόποι συνθέσεως ἀμύλου. Ὁ σχηματισμὸς τοῦ ἀμύλου φαίνεται νὰ εἶναι περιορισμένος εἰς τὴν περιοχὴν τῆς θεμελιώδους οὐσίας τοῦ πυρηνώδους. Σχηματισμὸς ἀμυλοκόκκων εἰς τὸ ἐσωτερικὸν τῶν διπλῶν μεμβρανῶν δὲν παρατηρήθη.

Die elektronenmikroskopischen Bilder sind im Staatsinstitut für Allgemeine Botanik der Universität Hamburg aufgenommen worden. Dem Direktor des Staatsinstituts, Herrn Prof. Dr. H. DRAWERT, danke ich für die Hilfe bei der Deutung der Bilder. Dank auch dem Direktor des Botanischen Instituts der Universität Thessaloniki, Herrn Prof. Dr. TH. DIANNELIDIS für die Unterstützung dieser Arbeit.

## L I T E R A T U R

- ALBERTSSON, P. A., and H. LEYON, 1954: The structure of chloroplasts. V. *Chlorella pyrenoidosa* PRINGSHEIM studied by means of electron microscopy. *Exp. Cell Res.* 7, 288-290.
- BRODY, M., and A. E. VATTER, 1959: Observations on cellular structures of *Porphyridium cruentum*. *J. biophys. biochem. Cytol.* 5, 289-294.
- BUTTERFASZ, TH., 1957: Über Grana, Karyoide und Pyrenoide von *Spirogyra*. *Protoplasma* 48, 368-381.
- CHADEFAUD, M., 1936: Le cytoplasme des algues vertes et des algues brunes. *Rev. Algolog.* 8, 5-286.
- CHADEFAUD, M., 1941: Les pyrenoides des algues et l'existence chez ces végétaux d'un appareil cinétique intraplastidial. *Ann. Sci. natur., Sér. XI, Bot.* 2, 1-44.
- CHARDARD, R., et C. ROUILLER, 1957: L'ultrastructure de trois algues desinidiées, étude au microscope électronique. *Rev. Cytol. Biol. végét.* 18, 153-178.
- CZURDA, V., 1928: Morphologie und Physiologie des Algenstärkekornes. *Beih. bot. Zbl.*, 1. Abt. 45, 97-270.
- ΔΙΑΝΝΕΑΙΔΗΣ Θ., 1966: Βοτανική. Ι. Μορφολογία. Θεσσαλονίκη.
- DRAWERT, H., und M. MIX, 1962: Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen an Desmidiaceen. *Planta* 58, 50-74.
- EDWARDS, M. R., 1966: Ultrastructure of *Porphyridium aeruginum* a blue-green Rhodophyta (abstr.). *Electron Microscopy Soc. Amer. 24th Anu. Meeting.* B-8.
- FREY-WYSSLING, A., und K. MÜHLETHALER, 1960: Über den Feinbau der *Euglena*-Zelle. *Schweiz. Z. Hydrologie* 22, 122-130.
- GANTT, E., and S. F. CONTI, 1965: The ultrastructure of *Porphyridium cruentum*. *J. Cell. Biol.* 26, 365-381.
- GANTT, E., M. R. EDWARDS, and S. F. CONTI, 1968: Ultrastructure of *Porphyridium aeruginum*. A blue-green colored Rhodophytan. *J. Phycol.* 4, 65-71.
- GIBBS, S. P., 1960: The fine structure of *Euglena gracilis* with special reference to the chloroplast and pyrenoids. *J. Ultrastruct. Res.* 4, 127-148.
- HOFFMAN, L. R., 1968: Observations on the fine structure of *Oedogonium*. V. Evidence for the de novo formation of Pyrenoids in Zoospores of *Oe. eardiacum*. *J. Phycol.* 4, 212-218.
- HOVASSE, R., et L. JOYON, 1960: Contribution à l'étude de la Chrysomonadine *Hydrurus foetidus*. *Rev. Algolog.*, N. S. 5, 66-84.
- KAJA, H., 1957: Elektronenmikroskopische Untersuchungen an den Chromatophoren von *Anthoceros laevis* L. *Ber. dtsh. bot. Ges.* 70, 343-354.

- LEYON, H., 1954: The structure of chloroplasts. III. A study of pyrenoids. *Exp. Cell Res.* 6, 497-505.
- MANTON, I., 1959: Electron microscopical observations on a very small flagellate: The problem of *Chromulina pusilla* BUTCHER. *J. marine biol. Ass.* 38, 319-333.
- MITRAKOS, K., 1960: Feinbau und Teilung bei Plastiden einiger Florideen-Arten. *Protoplasma* 52, 611-617.
- MONER, J. G., and G. B. CHAPMAN, 1960: The development of adult cell form in *Pediastrum biradiatum* MEYEN as revealed by the electron microscope. *J. Ultrastruct. Res.* 4, 26-42.
- MÜHLETHALER, K., 1960: Die Struktur und Entwicklung der Plastiden. *Dtsch. med. Wschr.* 85, 1057-1059, 1063-1065.
- REYNOLDS, E. S., 1963: the use of lead citrate at high pH as an electron-opaque stain in electron microscopy. *J. Cell. Biol.* 17, 208-212.
- SAGER, R., and G. E. PALADE, 1954: Chloroplast structure in green and yellow strains of *Chlamydomonas*. *Exp. Cell Res.* 7, 584-588.
- SAGER, R., and G. E. PALADE, 1957: Structure and development of the chloroplast in *Chlamydomonas*. I. The normal green cell. *J. biophys. biochem. Cytol.* 3, 463-488.
- SCHUSSNIG, B., 1958: Der Feinbau der Plastiden von *Rhopalocystis oleifera*. *Arch. Mikrobiol.* 31, 379-387.
- SCHUSSNIG, B., 1960: *Handbuch der Protophytenkunde*, Bd. II. Jena: Gustav Fischer.
- UEDA, K., 1958: Structure of plant cells with special reference to lower plants. III. A cytological study of *Euglena gracilis*. *Cytologia (Tokyo)* 23, 56-67.
- UEDA, K., 1960: IV. Structure of *Traehelomonas* sp. *Cytologia (Tokyo)* 25, 8-16.
- UEDA, K., 1963: A study on pyrenoid in *Chlorogonium clongatum*. *Microalgae and Photosynthetic Bacteria* 41-48.
- WOLKEN, J.J., and G. E. PALADE, 1952: Fine structure of chloroplasts in two flagellates. *Nature (Lond.)* 170, 114-115.

## ERKLÄRUNGEN ZU DEN ABBILDUNGEN

A=Stärkekörner, D=Dictyosomen, G=Grana, K=Zellwand, M=Mitochondrien, O=Nucleolus, P=Pyrenoid, R=Ribosomen, V=Vakuole und Z=Zellkern.

- Abb. 1. *Cosmarium laeve*. Zelle mit stärkeführenden Pyrenoiden. Vergr. 1550.  
Abb. 2. *Closterium navicula*. Zelle mit stärkeführenden Pyrenoiden. Vergr. 1550.  
Abb. 3. *Cosmarium laeve*. Pyrenoid. Die dunkle, osmiophile Grundsubstanz wird von deutlich erkennbaren Doppellamellen durchgezogen. Vergr. 21.000.  
Abb. 4. *Cosmarium laeve*. Wie bei der Abb. 3. Vergr. 10.500.  
Abb. 5. *Closterium navicula*. Die osmiophile Pyrenoidgrundsubstanz wird klar von der Grundsubstanz des übrigen Chloroplasten begrenzt. Die Doppelnatur der Lamellen tritt deutlich hervor. Vergr. 14.000.  
Abb. 6. *Closterium navicula*. Chloroplasten- und Zellkernteil. Im Zellkern ist die Doppelnatur der Kernmembran (=N) zu erkennen. Der Nucleolus (=O) ist gleichmässig granulär aufgebaut. Vergr. 21.000.  
Abb. 7. *Closterium navicula*. Pyrenoidteil mit Doppellamellensystem. Die Pyrenoidstärkehülle ist noch nicht ergänzt worden. Vergr. 42.000.  
Abb. 8. *Closterium navicula*. Übergang von Grana- zu Pyrenoidlamellen. Vergr. 21.000.  
Abb. 9. *Closterium navicula*. Das Doppellamellensystem des Pyrenoids ist deutlich zu erkennen. Vergr. 21.000.  
Abb.10. *Cosmarium laeve*. Zelle in Aufsicht. Vergr. 10.500.  
Abb. 11. *Cosmarium laeve*. Die Grenzen der dunklen osmiophilen Pyrenoidgrundsubstanz sind deutlich von der Stärkehülle zu erkennen. T und U Stelle, wo die Mitochondrienbildung anfängt. Vergr. 21.000.  
Abb. 12. *Closterium navicula*. Schnitt mit zwei klar erkennbaren Dictyosomen. Vergr. 10.500.  
Abb. 13. *Cosmarium laeve*. Schnitt mit drei fraglichen osmiophilen Kugeln. Vergr. 10.500.  
Abb. 14. *Cosmarium laeve*. Die Stärkekörner weisen osmiophile Konturen auf. Vergr. 21.000.  
Abb. 15. *Closterium navicula*. Schnitt mit zahlreichen Stärkekörnern sowohl des Pyrenoids auch des Plastidenstroma. S=osmiophile Globuli. Vergr. 10.500.