

Formwechsel und Teilung der Chromatophoren von *Fucus vesiculosus*

VON DIETRICH VON WETTSTEIN

Aus der Forstlichen Forschungsanstalt, Stockholm, und dem Biochemischen Institut, Uppsala
(Z. Naturforschg. 9b, 476—481 [1954]; eingegangen am 31. März 1954)

Für den Formwechsel der Chromatophoren von *Fucus vesiculosus* werden 2 Grundvorgänge beschrieben.

1. Der Chromatophor besteht aus durchgehenden groben Lamellen, die wie Schalen einer Zwiebel angeordnet sind. Bei der Größenzunahme des Elementar-Chromatophors im Ei und im Vegetationspunkt tritt eine Vermehrung der Lamellen auf. Diese geschieht wahrscheinlich durch eine Verdickung der Lamellen und nachfolgende Spaltung, die im allgemeinen in der Mitte des Chromatophors beginnt und gegen die beiden Enden fortschreitet. Die Trennung an den Enden ist zumeist nicht vollständig und führt so zu zusammenhängenden Doppellamellen (= Schalen).

2. Die Teilung der Chromatophoren in jungen Rindenzellen erfolgt durch eine in allen Lamellen parallelgehende Ausbuchtung, Einschnürungen und anschließende Teilung der Lamellen senkrecht zu ihrer Längsachse. Verschiedene Stadien dieses Vorganges werden an Hand von Elektronen-Mikro-Photogrammen geschildert, und ein allgemeines Schema der Teilung wird diskutiert.

3. Unvollständige Trennung der Chromatophoren bei der Teilung führt zu Ketten- und Sternformen. Aus diesen ist eine Ableitung komplizierter Chromatophoren möglich.

Two fundamental processes in the development and differentiation of the chromatophores of *Fucus vesiculosus* are described.

1. The chromatophore consists of continuous laminae arranged like the scales in an onion. The elementary chromatophores in the egg cells and cells of the apical meristem differentiate by an increase in total size and in the number of the thick laminae. The multiplication of laminae is brought about by their thickening and subsequent separation which often starts in the middle of the chromatophore and proceeds towards both ends. The separation is frequently incomplete at the terminal ends and thus leads to the formation of continuous double-laminae.

2. The division of the chromatophores in young cells of the subepidermal cortex is accomplished by pseudopode-like protrusions and successive constrictions of some part of the chromatophore with its laminae. Subsequently the laminae divide in a plane vertical to their longitudinal axis. The different stages of this process are shown in the electron micrographs and a general scheme of the chromatophore-division is discussed.

3. The incomplete separation of dividing chromatophores leads to chain- and star-like formations. In such a way the complicated chromatophores of certain algae can be interpreted.

Die Befunde

In der vorangegangenen Arbeit¹ wurde über die Struktur der Chromatophoren in verschiedenen Geweben von *Fucus* berichtet. Dabei traten interessante Veränderungen der Plastidenform auf. Diese und ihre mögliche Bedeutung sei hier beschrieben. Material und Untersuchungsmethodik sind in der vorhergehenden Veröffentlichung¹ beschrieben.

In Abb. 1*—8 ist der Formwechsel der Plastiden zusammengestellt. Die Chromatophoren des Eies (Abb. 1—4) zeigen deutlich eine Aufspaltung und Tren-

nung der groben Lamellen. Zunächst erfolgt offenbar, wie deutlich aus Abb. 1—2 hervorgeht, eine Verdickung oder Teilung der groben Lamellen und eine darauffolgende Trennung in 2 Lamellen. Abb. 4 macht wahrscheinlich, daß die Trennung von einem Punkte ausgeht und dann längs der Lamelle fortschreitet. Sehr häufig sieht man ein Nichttrennen der Lamellen an den Enden. Dies führt zu einer geschlossenen Doppellamelle. Wie bereits festgestellt¹, bestehen die groben Lamellen aus 4 Feinlamellen. An der Stelle, an der sich die dicke Lamelle in 2 trennt, sind, soweit beobachtet, 8 Feinlamellen vorhanden,

¹ H. Leyon u. D. v. Wettstein, Z. Naturforschg. 9b, 471 [1954].

* Abb. 1—25 s. Tafel S. 480.

von denen sich gegen das Ende des Chromatophors je 2 vereinigen, so daß dort 4 zu zählen sind (¹ Abb. 4). Eine nähere Analyse des Verlaufes der Feinlamellen wird darüber Aufschluß zu geben haben, ob es sich bei dem Vorgang der Lamellenvermehrung um eine echte Längsteilung der Lamellen handelt. Der Chromatophor der Abb. 5 ist aus einer jungen Zelle des Vegetationspunktes und entspricht denen des Eies, während der in Abb. 6 eine vermehrte Anzahl grober Lamellen zeigt, als das erste Zeichen einer Differenzierung. Weiterhin beobachtet man ein Wachstum der Chromatophoren (Abb. 6—8) und eine weitere Vermehrung der Lamellen in den älteren Zellen. Das Auseinanderweichen der Lamellen in Abb. 6—7 wird wohl durch eingelagertes Assimilat verursacht. Schließlich finden sich maximale Plattendengrößen, wie etwa in Abb. 20 und 21. In diesem Stadium beginnt die Degeneration. In allen Chromatophoren ist das Umbiegen der Lamellen an der Spitze zu erkennen. Dies wird bei der Beschreibung von Teilungsfiguren besonders zu berücksichtigen sein.

Will man den Vorgang der Chromatophoren-Teilung an Hand von elektronenoptischen Bildern beschreiben, so besteht die Gefahr, momentane Bilder subjektiv zu einem Vorgang aneinanderzureihen, ohne nachweisen zu können, ob die einzelnen Stadien wirklich auseinander hervorgehen. Es handelt sich um sehr dünne Schnitte, die in verschiedenen Ebenen durch den zunächst linsenförmigen Chromatophor geführt sein können. Es ist deshalb bei der Deutung der Schnitte der räumliche Bau zu berücksichtigen.

Um die Arbeit nicht von vornherein mit diesen Fehlerquellen zu belasten, sei zunächst eine rein morphologische Beschreibung der aufgefundenen Formen gegeben. In den Abbildungen 9—25 sind typische Beispiele herausgegriffen.

Abb. 9—10 zeigen die geringsten Abweichungen vom spindelförmigen Querschnitt der Chromatophoren. Man beobachtet eine Einschnürung der an der Spitze umbiegenden Lamellen. Dabei entstehende Ausbuchtungen können an den beiden Enden des Chromatophors gleichzeitig gebildet werden (Abb. 11). Die Einschnürung kann beträchtliche Tiefe erreichen (Abb. 12) und gibt solchen Chromatophoren ein 3-schenkliges Aussehen. Aus Abb. 13 geht hervor, daß alle Lamellen parallel in einer Richtung ausgebuchtet sind. Abb. 13 hat das Aussehen eines Schnittes durch einen 4-schenkligen Körper. Nicht sämtliche 4 Schenkel liegen mit ihrer Achse in einer

Ebene. Nur eine Lamelle ist in der nach unten gekehrten Ausbuchtung durchgehend, die übrigen sind abgeschnitten. Es fällt jedoch nicht schwer, sich in Gedanken einen vollständigen Schenkel von der Papierebene schräg nach oben vorzustellen. Ein tangentialer Schnitt dieses Schenkels muß dann freiliegende Lamellen ergeben. Deutlich tritt eine durchgehende Ausbuchtung der Lamellen von der Konvex- zur Konkavseite zutage (Pfeil). Diese Erscheinung konnte wiederholt beobachtet werden (vgl. auch Abb. 16 und 19). Sie legt nahe, daß es sich um eine durchgehende Einschnürung, hervorgerufen durch eine auf alle Lamellen gleichzeitig und einseitig wirkende Kraft, handelt. Im Gegensatz dazu steht der untere Chromatophor in Abb. 14, an dem man das Abstoßen der Lamellen von der Mittellinie des Längsschnittes zu zwei einander gegenüberliegenden Ausbuchtungen beobachtet. Nach diesem Bild zu urteilen, geschehen die Ausbuchtungen also nicht nur an der Spitze des Chromatophors, sondern auch in seinem Mittelteil. Abb. 15 gibt einen typisch 4-schenkligen, Abb. 16—17 typisch 5-schenklige Chromatophoren wieder, wobei der 5. Schenkel (Pfeil) mit seiner Achse geneigt zur Papierebene gedacht werden muß. Die Einschnürungen sind hier besonders weit vorgeschritten. In diesen beiden letzten Bildern sind auch Physoden (Ph) mit ihrer feinen Lamellenstruktur¹ in unmittelbarer Nähe der Chromatophoren zu sehen. Ob sie eine Beziehung zu diesen Chromatophoren-Stadien haben, ist einstweilen nicht abzusehen; sie wurden in der Nähe von mehrschenkligen Formen fast immer gefunden.

Abb. 18 zeigt 2 Chromatophoren, die nur an einer Stelle zusammenhängen. An der kritischen Stelle, an der die 2 Ausbuchtungen aneinanderstoßen, sind die innersten Lamellen selbständig, während 2 oder 3 der äußersten Lamellen beiden Chromatophoren angehören. Diese sind an der Berührungsstelle der Ausbuchtungen in Richtung des Pfeiles scharf eingeschnürt. Man kann sich des Eindruckes nicht erwehren, daß hier eine Durchschnürung, die zu 2 getrennten Chromatophoren führt, im Gange ist. Auch für die 2 Chromatophoren der Abb. 14 gilt das hier Gesagte (Pfeil). Einige scharf eingeschnürte äußere Lamellen gehören beiden Chromatophoren an, während die inneren unabhängig sind.

Das Chromatophoren-Bild Abb. 19 ist wohl so zu erklären, daß hier eine weitgehende Durchschnürung eines Chromatophors geschehen ist (der Schnitt ist nicht parallel zur Achse der Ausbuchtungen geführt). Das eine Teilprodukt beginnt bereits eine neue Ab-

schnürung in anderer Ebene. An dieser ist auch eine starke Längsstreckung des „Mitochondriums“ (M), das häufig den Chromatophoren anliegt (vgl. Abb. 2), zu erkennen. Daran anschließend sind noch die Feinlamellen einer Physode zu sehen. Das Mitochondrium folgt also den Ausbuchtungen des Chromatophors mit, und wenn dies das Stadium einer einleitenden Teilung ist, so dürfte sich das Mitochondrium simultan teilen.

In den älteren Zellen sieht man häufig nahe aneinanderliegende Tochter-Chromatophoren, wie etwa in ¹Abb. 6, die vollständig getrennte Lamellensysteme bilden. Für unser Problem mögen solche nahe beisammenliegende Chromatophoren von Interesse sein, deren Lamellensysteme nicht sauber voneinander getrennt sind (Abb. 20—25). Sie können als Endstadien einer Teilung aufgefaßt werden. Besonders aufschlußreich scheint Abb. 20. Ein großer Chromatophor hat zwei kleinere abgeschnürt; einen an der Spitze, einen an seiner Breitseite.

Die mit Pfeil bezeichnete Stelle zeigt einen Zusammenhang der beiden Lamellensysteme und ist in Abb. 22 stärker vergrößert sowie in Abb. 23 gezeichnet dargestellt. Die 2 äußersten Lamellen gehören mit einer tiefen Einschnürung beiden Chromatophoren an. Es sieht so aus, als ob die äußerste Lamelle an dem Gipfelpunkt der Einschnürung aufgespalten ist. Die nächste Lamelle steht in Verbindung mit mehreren, senkrecht zu der Ausbuchtung liegenden dünneren Lamellen. An der Verbindungsstelle erkennt man Verdickungen. Inwieweit Verdickungen durch schiefe Schnittführung vorgetäuscht werden, ist nicht abzusehen. Wahrscheinlich reißt die Lamelle bei weiterer Einschnürung zwischen den beiden verdickten Stellen durch und die Lamellen sind getrennt. Dieser Einschnürung gegenüber liegt, wenn auch weniger deutlich, eine spiegelbildliche Anordnung (Doppelpfeil).

Die Analyse wird dadurch erschwert, daß an den betreffenden Stellen, an denen die Chromatophoren noch zusammenhalten, stets eine besonders dichte Lamellenpackung besteht. Auch Abb. 24 läßt mehrere gegeneinander abgerundete Lamellen erkennen (Pfeil), während 2 äußere Lamellen durchgehend sind. Abb. 21 gibt 3 sternförmig zusammenhängende Chromatophoren wieder, wohl simultan aus einem gebildet. Schließlich veranschaulicht ein Detailbild (Abb. 25), daß auch bereits weit getrennt liegende Chromatophoren Verbindungslamellen besitzen können (Pfeil). Dies wäre schwer begreiflich, wenn die beiden Chromatophoren nicht durch Teilung aus-

einander hervorgegangen wären. Die groben Lamellen dieses Bildes haben eine Feinstruktur von 4 Elementarlamellen, wie auch die in den geschilderten Chromatophorenstadien (Abb. 9, 10, 14, 18, 24). Die Feinstruktur wird also während der Teilung beibehalten.

Die Deutung

Überblickt man die untersuchten Chromatophorenstadien, so sind als gemeinsame Kennzeichen hervorzuheben:

1. Der Aufbau aus in sich geschlossenen Lamellen.
2. Das Auftreten von Ausbuchtungen der geschlossenen Lamellen.
3. Das Auftreten von Einschnürungen der geschlossenen Lamellen.
4. Das Auftreten von neuen, in sich geschlossenen Lamellen in den Chromatophoren.

Letzteres kann nur durch eine Verschmelzung der Lamellen und darauf folgende Trennung durch Querteilung geschehen. Damit wären die 4 Grundprinzipie der Teilung erfaßt.

Als Fehlerquelle kommen zunächst bei der Fixierung entstehende Artefakte in Frage. Die mehrschenkligen Plastidenformen könnten durch eine infolge der Fixierung hervorgerufene Kontraktion des Plasmas in verschiedenen Richtungen entstanden gedacht werden. Dies ist zumindestens sehr unwahrscheinlich, da ausgebuchtete Formen bei verschiedenen Modifikationen der Fixierung stets in jungen Rindenzellen auftreten. Sie werden auch gefunden, wenn ganze Plastiden ohne Deformationen in der gleichen Zelle liegen und das Plasma der Zellwand vollständig anliegt, was als Zeichen einer guten Fixierung gewertet wird.

Was läßt sich nun dafür anführen, daß die dargestellten Stadien Plastiden-Teilungen sind? M a n g e n o t² hat den Formwechsel der Chromatophoren von *Fucus* und ihre Teilung mikroskopisch an lebendem und gefärbtem Material studiert. Es gelingt ihm, in allen Zellen des Vegetationspunktes und während der Oogonentwicklung bis zur Eizelle die Chromatophoren von den Mitochondrien getrennt sichtbar zu machen. Er unterscheidet 2 Sorten von Chromatophoren, die spindelförmigen der Oogonien und der Scheitelzelle gegenüber den beträchtlich größeren in den älteren Zellen des Rindengewebes. Das würde meiner Einteilung in Elementar-Chro-

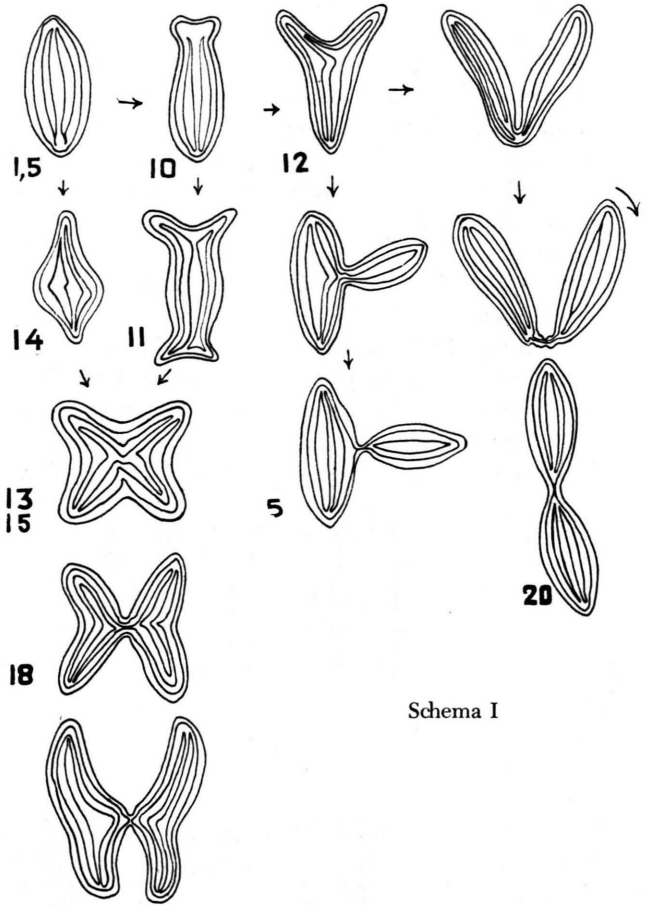
² G. M a n g e n o t, C. R. [Doklady] Acad. Sci. URSS. 170, 63 u. 200 [1920].

matophoren (Abb. 1—5) und den eigentlichen Chromatophoren (Abb. 6—8) entsprechen. In den Zellen, die der Scheitelzelle benachbart liegen, beobachtet M a n g e n o t das Heranwachsen der Chromatophoren und eine lebhafte Teilung durch Einschnürung. Gerade aber diese Zellen sind es, in denen die hier beschriebenen Teilungsstadien gefunden werden. Eine rege Chromatophoren-Teilung beobachtet M a n g e n o t in den jungen Oogonienzellen. Für diese bildet er sogar 3-schenklige Gebilde ab, die in Medianschnitten Abb. 12 ergeben müssen.

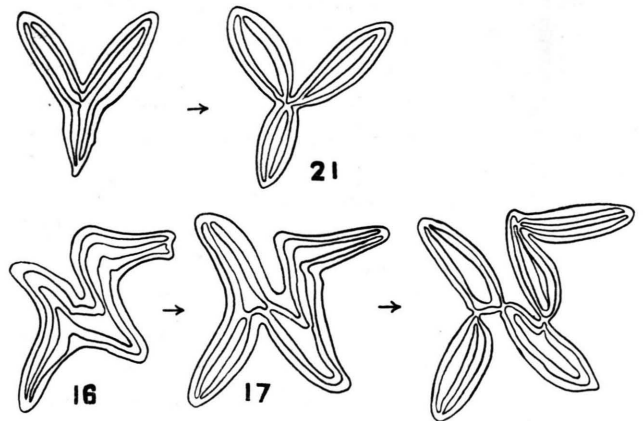
Unter Berücksichtigung der 4 oben genannten Prinzipie kann man folgendes Schema der Chromatophoren-Teilung und der Entstehung der verschiedenen Teilungsstadien machen. Der Einfachheit halber sind nur 4 geschlossene Lamellen angenommen. Die Zahlen geben die photographische Abbildung an, mit der das Stadium belegt ist.

Offensichtlich entstehen durch lokales Wachstum oder Streckung der Lamellen zunächst Ausbuchtungen. Ich möchte eher zur Auffassung neigen, daß es Wachstum ist, da sämtliche Lamellen stets an den ausgebuchteten und geraden Stellen gleich dick erscheinen. Dann erfolgt aktive oder passive Einschnürung. Betrachten wir zuerst den Fall (Abb. 12), wo nur 2 Ausbuchtungen vorhanden sind. Durch stetig tiefer greifende Einschnürung gelangen die Lamellen näher und näher aneinander und es erfolgt schließlich eine Vereinigung und Durchtrennung der zu innerst liegenden Lamellen. Sie bilden in den Ausbuchtungen je eine eigene, in sich wieder geschlossene Lamelle. Bei den folgenden Lamellen wiederholt sich das gleiche. Schließlich hängen sie nur mehr, mikroskopisch als ausgezogener Faden sichtbar, an 1 oder 2 Lamellen zusammen. Die häufig beobachteten Ketten (vgl. etwa Abb. 20) können durch einfaches Umklappen, wie im Schema angenommen, entstehen. Auffallend in ¹ Abb. 5 ist, daß der kleinere Tochter-Chromatophor mit der Spitze an der Breitseite des großen Tochter-Chromatophors ansetzt. Dies ist schematisch leicht mit Hilfe einer seitlichen sekundären Einschnürung der Abb. 12 zu zeigen. Es führt zu i n ä q u a l e r Plastidenteilung. Eine solche kann in Schnitten dadurch vorgetäuscht werden, daß der eine Chromatophor mit seiner längsten Raumachse senkrecht zu dem anderen steht. Eine Entscheidung ist einstweilen noch nicht möglich, da die Technik noch keine Untersuchung von Serienschritten zuläßt.

Die Entstehung der 4-schenkligen Stadien kann



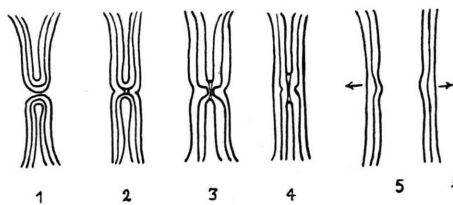
Schema I



Schema II

auf 2 Wegen geschehen. Da die Bildung von 2 Chromatophoren aus ihnen direkt belegt ist (Abb. 18), sei sie hier wiedergegeben. Dabei wird die Bedeutung einer durchgehenden Lamellenausbuchtung von einer

Konvexe Seite zur gegenüberliegenden Konkavseite klar. Sie ermöglichte die zentrale Annäherung der Lamellen. Der Teilungsvorgang ist im übrigen der gleiche wie bei der Durchschnürung zur Kettenform. Oben wurde die sternförmige Anordnung dreier Tochter-Chromatophoren erwähnt. Eine solche ist leicht abzuleiten (Schema II) aus einem Chromatophor mit 2 Ausbuchtungen und 3-seitiger Einschnürung. In Analogie dazu ist damit zu rechnen, daß sich 4- und 5-schenklig Chromatophoren (Abb. 15, 16, 17) simultan in 4 oder 5 Plastiden teilen. Dies ist ebenfalls in Schema II veranschaulicht. Allen diesen Teilungen liegt jedoch nur lokales Lamellenwachstum, Ausbuchtung und Einschnürung mit nachfolgender Querteilung der Lamellen zugrunde. Schema III gibt letzteren Vorgang im Detail wieder,



Schema III

soweit er aus Abb. 14, 18, 22—24 erfaßt werden konnte. Eine genauere Untersuchung wird den Mechanismus dieser Lamellentrennung klarzulegen haben. Auch die Erweiterung der Vorstellungen über die räumlichen Verhältnisse der Chromatophoren-Teilung muß angestrebt werden.

Der räumliche Aufbau des Chromatophors muß so beschaffen sein, daß man in jeglicher Schnittrichtung durchgehende Lamellen erhält. Wie man sich leicht an einem Modell überzeugen kann, wird das erreicht, wenn man einen Körper aus geschlossenen Schalen zusammenfügt, etwa in Analogie zum Aufbau einer Zwiebel. Aus den Bildern 1—6 geht hervor, daß diese Schalen nicht durchweg konzentrisch angeordnet sind, sondern, bedingt durch die Lamellenlängsteilung, geschlossene Schalen auch nebeneinander von den äußersten Schalen umhüllt liegen. Dies müßte bei der Teilung zur Folge haben, daß die Lamellen teilweise nicht geteilt, sondern nur verteilt werden, wie im Schema der Kettenbildung angegeben. Dabei entsteht eine ungleiche Anzahl

³ E. Steinmann, *Experientia* [Basel] 8, 300 [1952]; H. Leyon, *Exp. Cell Res.* 4, 371; *ibid.* 5, 520 [1953]; 6, 497 [1954].

von Lamellen in den Tochter-Chromatophoren, die jedoch durch erneute Lamellen-Längsteilung ausgeglichen werden kann. Betrachtet man 4-schenklig Gebilde (Abb. 13, 15), so müssen sich in den Tochter-Chromatophoren zur Folge des Ausbuchtungsvorganges je 2 Enden mit konzentrischer Lamellenanordnung finden und je 2 mit nebeneinander liegenden Schalen. Beide Fälle konnten in der Tat in den elektronenmikroskopischen Bildern gefunden werden. Die konzentrische Anordnung in einem Teil der Chromatophorenden dürfte jedoch häufig durch Lamellen-Längsteilung aufgehoben werden.

Nach den gegebenen Bildern ist die Frage, ob Quer- oder Längsteilung der Algen-Chromatophoren erfolgt, überflüssig.

Die Algen-Chromatophoren weisen einheitlich lamelläre Struktur auf³. Die Teilung durch lokales Chromatophoren-Wachstum, Verzweigung und Einschnürungen ist ebenfalls allen Algen gemeinsam⁴. Die Feststellung, daß auch bei *Fucus* stern- und kettenförmige Anordnungen infolge einer unvollständigen Durchschnürung vorkommen, legt den Gedanken nahe, die reiche Formbildung der Braunalgen-Chromatophoren⁵ durch verschiedene Grade lokalen Wachstums und verschieden vollkommene Durchschnürung zu erklären. Wie bei den Fucaceen ist bei den Laminariales und Dictyotaceen im allgemeinen die Durchschnürung vollständig und ergibt linsenförmige Chromatophoren. Bei den Ectocarpales hingegen gibt es stark verzweigte und gezackte Chromatophoren. Sie weisen unvollständige Durchschnürung auf (vgl. auch hierzu Leyon⁶). Dazu kommen Plattenformen, die auf eine vollständige Hemmung der Einschnürung deuten. Auch sehr komplizierte sternförmige Chromatophoren, wie z. B. die von *Zygnema*, lassen sich in Analogie zu Abb. 21 deuten.

In diesem Zusammenhang interessieren die Befunde von Küster⁷ an *Bryopsis*. Er kommt auf Grund der Beobachtung von 3- und mehrschenkligen Chromatophoren zu ähnlichen Vorstellungen wie die hier entwickelten: „Ich deute es dahin, daß lokales Wachstum und Verzweigung auch bei *Bryopsis* eintreten können.“ Möglicherweise handelte es sich um Formen, in denen durch die abnormen Kulturbedingungen die Durchschnürung gehemmt war.

⁴ F. Schmitz, *Verh. naturhist. Ver. d. preuß. Rheinlande u. Westphalens*, 40, Bonn 1883.

⁵ F. Oltmanns, *Morph. u. Biol. der Algen*, Bd. II u. III, Jena 1922.

⁶ H. Leyon, *Exp. Cell Res.* 6, 499 [1951].

⁷ E. Küster, *Protoplasma* 2, 75 [1927].

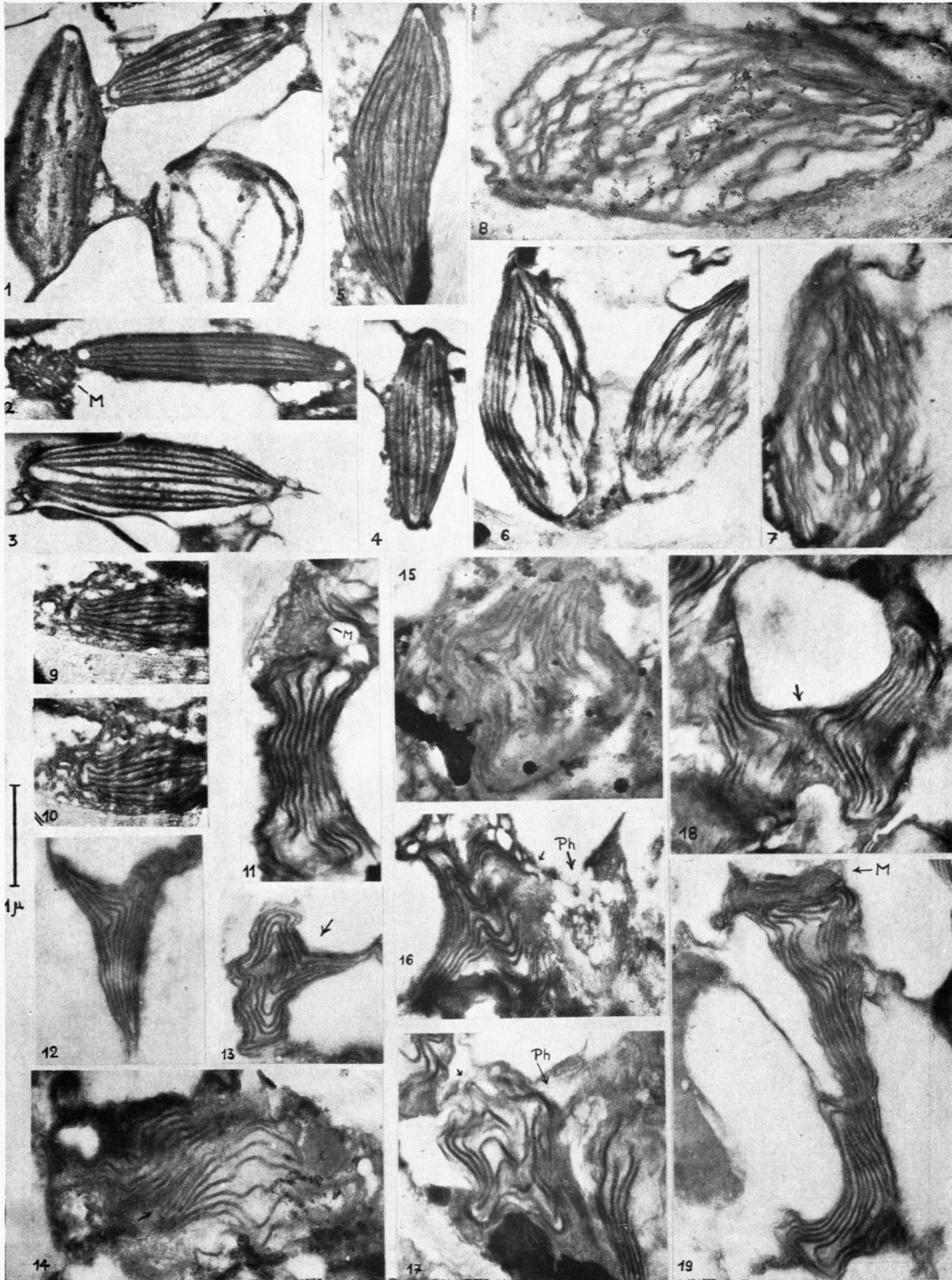


Abb. 1—4. Chromatophoren aus Eizellen von *Fucus vesiculosus* mit Lamellenlängsteilung. 16 000 : 1.

Abb. 5, 6. Chromatophoren aus jungen Rindenzellen. 16 000 : 1.

Abb. 7, 8. Chromatophoren aus älteren Rindenzellen. 16 000 : 1.

Abb. 9—19. Verschiedene Teilungsstadien der Chromatophoren in jungen Rindenzellen (M Mitochondrien, Ph Physoden). 16 000 : 1.

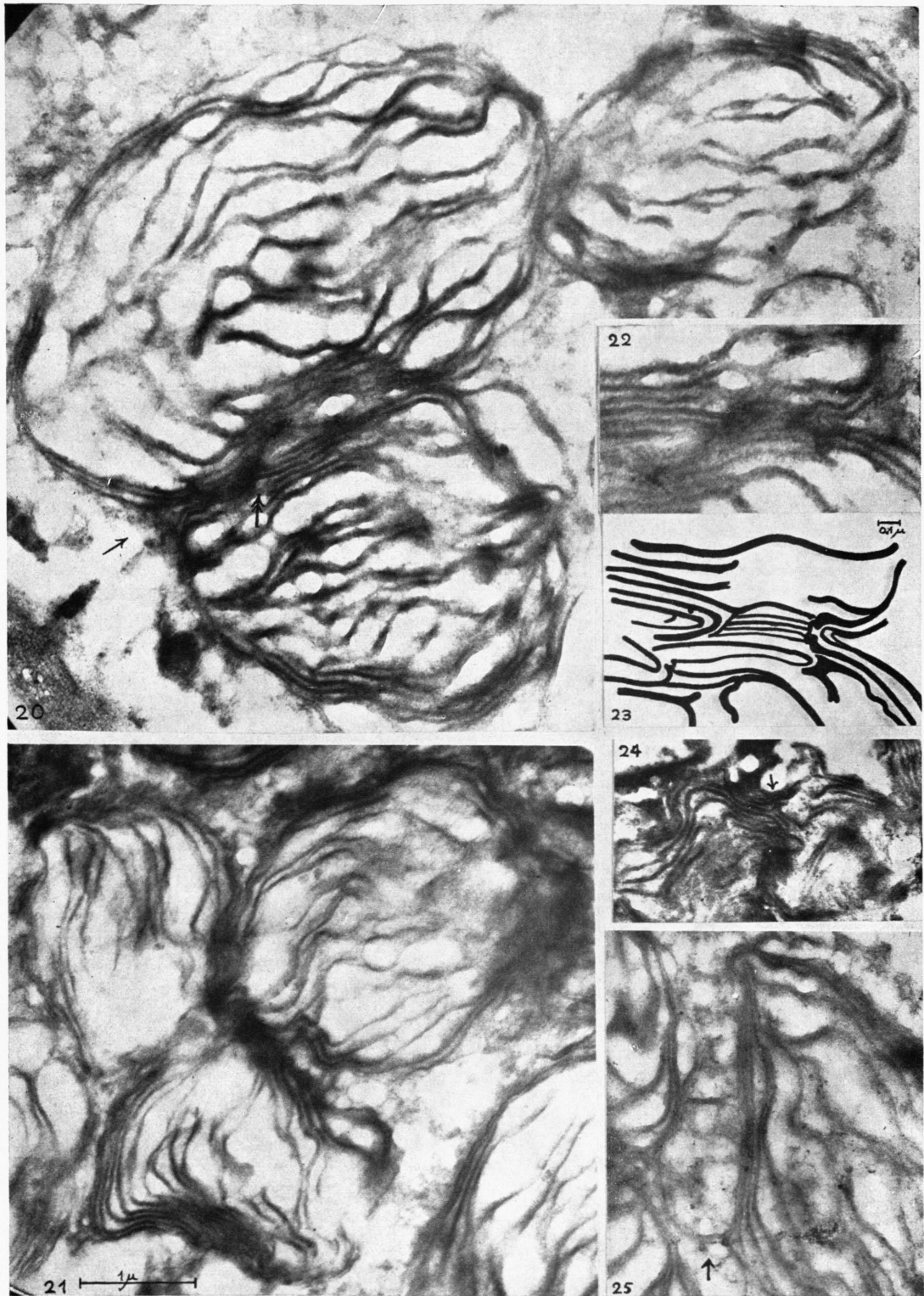


Abb. 20, 21. Unvollständig geteilte Chromatophoren aus älteren Rindenzellen von *Fucus vesiculosus*. 18 000 : 1.

Abb. 22, 23. Ausschnitt aus Abb. 20. 30 000 : 1.

Abb. 24, 25. Detailbilder unvollständig getrennter Chromatophoren. 18 000 : 1. Nähere Erklärung im Text.

Über die Plastiden-Teilung der Phanerogamen und Gefäßkryptogamen gibt Reinhard⁸ eine Zusammenstellung. Er erwähnt unter anderen mehrschenklige Plastiden bei Equisetum und Selaginella. Letztere sind von besonderem Interesse, da hier die Chromatophoren in Ketten angeordnet sind. Die Plastiden höherer Pflanzen teilen sich ebenfalls durch Einschnürung. Die besten elektronenoptischen Bilder⁹ zeigen, daß die Phanerogamen-Plastiden eine weitaus größere Zahl von Lamellen als die *Fucus*-

⁸ H. Reinhard, *Protoplasma* **19**, 541 [1933].

⁹ H. Leyon, *Exp. Cell Res.* **4**, 371, **5**, 520 [1953] und unveröffentlicht; J. B. Fineau, F. S. Sjöstrand u. E. Steinmann, *Exp. Cell Res.* **5**, 557 [1953].

Chromatophoren besitzen. Ein Umbiegen der Stromalamellen an der Spitze ist neuerdings festgestellt worden¹⁰.

Man möchte ähnliche Teilungsvorgänge wie die hier beschriebenen an den Chloroplasten der höheren Pflanzen erwarten, jedoch wird aufzuklären sein, was eine Einschnürung, stets nur senkrecht zur Längsachse des Plastids gerichtet, bedingt.

Die Schwedische Akademie der Wissenschaften hat diese Untersuchung durch finanzielle Hilfe aus dem Lars-Hiertas-Gedächtnis-Fond dankenswert unterstützt. Herrn Dr. H. Leyon danke ich für die anregende Zusammenarbeit und viele wertvolle Diskussionen.

¹⁰ H. Leyon, *Exp. Cell Res.*, im Druck.

Über einige Ähnlichkeiten der Lichtwirkung auf grüne Pflanzen und auf das tierische Auge

Von H. G. AACH

Aus dem Max-Planck-Institut für Biologie, Abt. Melchers, Tübingen

(Z. Naturforschg. **9b**, 481—487 [1954]; eingegangen am 4. November 1953)

Wesentliche Erscheinungen, die man bei Lichteinwirkung auf die lichtempfindlichen Organe bei Pflanzen und Tieren beobachten kann, scheinen beiden Organismengruppen gemeinsam zu sein: die obligatorische Lichteinwirkung 1. bei der Entstehung der Farbstoffe, 2. bei ihrer physiologischen Funktion, der Photosynthese oder der Perzeption, 3. bei der Inaktivierung, der Adaptation und 4. bei der oxydativen Zerstörung der Farbstoffe. Abschließend wird der Versuch unternommen, ein allgemeingültiges Schema für die Reaktionsfolge aufzuzeigen.

Trotz einiger richtungweisender, aber bereits weiter zurückliegender Ansätze^{1,2} sind wir über die Natur der Vorgänge, die der Pflanze die Photosynthese und dem Tier die Lichtperzeption ermöglichen, noch sehr wenig unterrichtet. Immerhin läßt sich nach dem bisher Bekannten mancherlei beiden Vorgängen Gemeinsames aufzeigen, dem im Folgenden nachgegangen wurde. In erster Linie wird es sich dabei um den Vergleich physiologischer Erscheinungen handeln. Deshalb darf vielleicht gleich eingangs darauf hingewiesen werden, daß sich die Gleichartigkeit nicht auf die Physiologie beschränkt. Auch in den submikroskopischen Strukturen der Zapfen der Retina und der Grana der Chloroplasten wurde bei Untersuchungen mit dem Elektronen-

mikroskop eine auffallende Übereinstimmung gefunden^{3,4,5}.

Es gibt zwar eine Reihe von Pflanzen, die auch im Dunkeln Chlorophyll zu bilden imstande sind — am bekanntesten ist das von *Chlorella*⁶ —, doch geht die Synthese der grünen Farbstoffe bei Lichtabschluß in den meisten Pflanzen nur bis zum Protochlorophyll⁷. Unter Lichteinwirkung entsteht dann daraus in Bruchteilen von Sekunden⁸ das Chlorophyll, ohne das keine photosynthetischen Prozesse in der Natur vor sich gehen können. Das Chlorophyll ist stets mit Karotin und Karotinoiden vergesellschaftet. Diese Farbstoffe entstehen in geringer Menge schon im Dunkeln (auch Karotin?⁹ s. dagegen l. c.⁶). Nach Lichteinwirkung wird aber ein Vielfaches der im Dunkeln vorhandenen Menge

¹ O. Warburg, *Biochem. Z.* **166**, 386 [1925].

² S. Hecht, *Ergebn. Physiol., biol. Chem. exp. Pharmakol.* **32**, 243 [1931].

³ E. Steinmann, *Exp. Cell Res.* **3**, 367 [1952].

⁴ J. B. Thomas, M. Birstrean u. C. H. Paris, *Biochim. biophysica Acta* [Amsterdam] **8**, 90 [1952].

⁵ W. Straus, *Helv. chim. Acta* **25**, 705 [1942].

⁶ Z. B. R. Eicke, Dissertation Berlin 1944.

⁷ K. Noack u. W. Kießling, *Hoppe-Seyler's Z. physiol. Chem.* **182**, 13 [1929]; **193**, 97 [1930].

⁸ H. Rudolf, *Planta* **21**, 104 [1934].

⁹ H. v. Euler u. H. Hellström, *Hoppe-Seyler's Z. physiol. Chem.* **183**, 177 [1929].