Untersuchungen über die Individualität der Plastiden bei Phanerogamen.

Von

Konrad Ludwig Noack.

Mit 3 Abbildungen im Text und Taf. I und II.

Einleitung.

Seit der Feststellung des Vorhandenseins von Chondriosomen in pflanzlichen Zellen ist die Schimpersche Lehre von der Individualität der Plastiden, die bis dahin als fest fundiert gegolten hatte, wieder ins Wanken geraten. Zwar waren auch nach den grundlegenden Arbeiten von Schimper und Arth. Meyer vereinzelt noch Stimmen laut geworden, die den Plastiden eine eigene Individualität absprachen und sie durch Differenzierung aus dem Plasma oder dem Zellkern hergeleitet wissen wollten, aber diesen Zweifeln gegenüber waren die Beobachtungen, welche die Angaben der beiden vorgenannten Autoren bestätigten, so zahlreich, daß man allgemein als bewiesen annahm, die Plastiden könnten niemals de novo entstehen, sondern gingen immer nur durch Teilung aus ihresgleichen hervor. Eine Besprechung der Geschichte der Plastidenforschung erübrigt sich, solche Zusammenstellungen sind in der Literatur schon des öfteren gegeben worden; es sei in dieser Hinsicht z. B. auf die eingehenden Ausführungen bei Guilliermond (2) verwiesen.

Nachdem das Vorkommen chondriosomenartiger Gebilde auch in pflanzlichen Zellen festgestellt worden war, griffen zuerst Pensa (17) und Lewitzky (7) die Zweifel, die über die Schimpersche Auffassung früher laut geworden waren, wieder auf und suchten nachzuweisen, daß im Vegetationspunkt des Stengels

nur Chondriosomen vorhanden seien, aus denen sich im Lauf der Ausdifferenzierung der Zellen die Plastiden durch Umwandlung herausbilden sollten. Neben dieser Neuentstehung der Plastiden im Meristem geht in ausgewachsenen Zellen eine Vermehrung derselben durch Teilung vor sich. Ähnliche Resultate erhielten u. a. Forenbacher (1) und Meves (11) und namentlich war es Guilliermond, der in einer großen Zahl von Abhandlungen die Lehre von den pflanzlichen Chondriosomen ausbaute. Was die Beziehungen zwischen Chondriosomen und Plastiden betrifft, so kommt auch dieser Autor zu dem Ergebnis, daß Leuko-, Chloro- und Chromoplasten durch direkte Umwandlung aus Chondriosomen entstehen sollen, und stellt für diese Metamorphose einige Schemata auf (2), die für verschiedene Pflanzen bzw. Pflanzenteile als charakteristisch angegeben werden.

Die Angaben dieser Forscher, die eine Neubildung der Plastiden beobachtet haben wollten, blieben nicht unwidersprochen und eine Reihe neuerer Arbeiten versuchen die Beziehungen zwischen Plastiden und Chondriosomen klarzustellen. Neben der schon erwähnten Ansicht Lewitzkys, Guilliermonds u. a. sind im wesentlichen zwei Anschauungen über die Beziehungen dieser Gebilde zueinander laut geworden. Die eine Anschauung stammt von Lundegårdh (9), welcher das Vorhandensein von Chondriosomen prinzipiell in Abrede stellt und alle in Frage kommenden derartigen Gebilde als Plastiden anspricht, die infolge schlechter Fixierung deformiert worden seien. Dieser Standpunkt ist inzwischen wohl allerseits verlassen worden, nachdem die Existenz der Chondriosomen auch durch Beobachtungen an lebendem Material außer Frage gestellt worden ist. Die andere Anschauung sieht in den Plastiden und Chondriosomen voneinander gänzlich unabhängige Gebilde, die nebeneinander in der Zelle vorkommen und in keinerlei ontogenetischer Beziehung zueinander stehen; die Schimpersche Lehre von der Individualität der Plastiden wird von der Existenz der Chondriosomen nicht berührt.

Rudolph (18) hat als erster diese Ansicht ausgesprochen und bei Asparagus zu beweisen versucht. Er konnte bis an das Meristem Chondriosomen und Chromatophoren nebenein-

ander verfolgen; im Meristem selbst waren sie jedoch nicht mehr auseinander zu halten, hauptsächlich deswegen, weil ein großer Teil der Chondriosomen hier in der Form von Mitochondrien, also von Körnchen, auftritt. Der scharfe Beweis der Unabhängigkeit der Plastiden von den Chondriosomen ist Rudolph somit nicht gelungen, doch weiß er durch geschickte theoretische Erörterungen seiner Auffassung eine Stütze zu geben. Wesentlich weiter führt in dieser Hinsicht eine Arbeit von Sapehin (19), der bei höheren Kryptogamen (Laub- und Lebermoosen, Farnen und Lycopodiaceen), sowohl an lebendem wie an fixiertem und gefärbtem Material die Unabhängigkeit der Plastiden von den Chondriosomen durch alle Entwicklungsstufen bis ins einzelste nachweist.

Der Versuch, diese Ergebnisse auch auf höhere Pflanzen zu übertragen, ist auch ihm nicht geglückt. Bei einem Teil der untersuchten Pflanzen (Elodea, Asparagus, Euphorbia, Trianea) waren die Plastiden bis hoch in den Sproßscheitel hinauf noch deutlich von den Chondriosomen zu unterscheiden; im Meristem selbst ist ihre Größe jedoch so gering, daß eine solche Unterscheidung nicht mehr möglich ist. In Oenothera glaubte er schließlich ein zur Entscheidung dieser Frage geeignetes Objekt gefunden zu haben. In Vegetationspunkten von Pflanzen, die im freien Land gezogen waren, ließen sich die Plastiden mit Deutlichkeit neben den Chondriosomen bis ins äußerste Meristem verfolgen. Die Untersuchung von Exemplaren jedoch, die im Gewächshaus getrieben waren, ließ eine solche Unterscheidung nicht mehr zu. Sapehin hält sich daher nicht für berechtigt, seine Befunde bei Kryptogamen auf die höheren Pflanzen zu übertragen, weist aber mit Recht (19, S. 386), wie schon vorher Rudolph (18, S. 625), darauf hin, daß es »sowohl logisch als auch in phylogenetischer Beziehung inkonsequent« sei, für die Plastiden der Phanerogamen eine andere Entwicklungsgeschichte anzunehmen, als für diejenigen der Kryptogamen, da diese Organe dann nicht mehr als homolog angesprochen werden können.

Eine wertvolle Bestätigung der Befunde von Sapehin gibt unabhängig von diesem Scherrer (20), der die Individualität der in den Zellen in Einzahl vorhandenen Plastiden bei Antho-

ceros durch alle Entwicklungsstufen nachweist; auch hier fanden sich unabhängig von den Chromatophoren überall Chondriosomen.

Nachdem für die Kryptogamen die Streitfrage im Sinne der Auffassung von Schimper entschieden war, erschien es wünschenswert, diese Verhältnisse auch bei den Phanerogamen einer erneuten Prüfung zu unterziehen, insbesondere, da von Anhängern der Chondriosomenlehre geltend gemacht worden war, die Entwicklungsgeschichte der Plastiden bei den Phanerogamen sei prinzipiell anders als diejenige der Kryptogamen. Sorgfältige Lebenduntersuchung in Verbindung mit den verschiedensten Fixierungs- und Färbemethoden ließen erhoffen, auch hier zu einem endgültigen Resultat zu kommen. In den folgenden Zeilen sollen die Ergebnisse der Untersuchung dreier Pflanzen beschrieben werden. Um das Resultat gleich vorwegzunehmen: bei allen drei Untersuchungsobjekten gelang es sowohl in vivo, wie auch in fixierten und gefärbten Präparaten, die Unabhängigkeit der Plastiden von den Chondriosomen nachzuweisen; die Schimpersche Lehre von der Individualität der Plastiden erfuhr auch für die Phanerogamen eine volle Bestätigung.

Als erstes und wichtigstes Objekt wählte ich Elodea canadensis, teils weil diese Pflanze schon von den verschiedensten Autoren [Schimper (21), Arth. Meyer (12), Lewitzky (8), Sapehin (19)] mit ganz widersprechenden Resultaten untersucht worden war, teils weil sie für Lebenduntersuchungen besonders geeignet erschien. Außerdem wurden Beobachtungen an Impatiens parviflora und Pelargonium zonale angestellt.

Es lag nicht in meiner Absicht, der Frage über die Natur der Chondriosomen näher zu treten; einige diesbezügliche Beobachtungen sind, soweit sie mit dem Thema der Arbeit in Beziehung stehen, an geeigneter Stelle eingefügt. Ganz allgemein möchte ich jedoch bemerken, daß ich im Laufe meiner Untersuchungen den Eindruck gewonnen habe, daß die Auffassung von Arth. Meyer (13, 14) über das Wesen der Chondriosomen der Wirklichkeit wohl am nächsten kommt, wenn er annimmt, daß es sich bei diesen Gebilden nicht um selb-

ständige Organe der Zelle handelt, sondern um Vakuolen irgendwelcher eiweißartiger Stoffwechselprodukte, vielleicht um eine eiweißhaltige Reservesubstanz. Irgendwelche Anhaltspunkte für die Annahme, daß die Chondriosomen Teilbarkeit besitzen, habe ich nirgends finden können[1].

Nach Abschluß der Untersuchungen erhielt ich Einblick in die Arbeit von Mottier (16). Dieser Autor untersuchte die Entwicklung der Pastiden einiger Kryptogamen, der Wurzeln von Pisum, der Keimlinge von Pinus Banksiana und der Sproßscheitel und Blätter von Elodea canadensis. Er kommt zu dem Resultat, daß sich die Leuko- und Chloroplasten der untersuchten Pflanzen aus stäbchen- oder körnerförmigen Vorstufen (primordia) entwickeln, die selbständige Organe der Zelle darstellen und sich ebenso wie die erwachsenen Plastiden durch Teilung vermehren. Daneben befinden sich im Plasma Chondriosomen, die sich ebenfalls durch Teilung vermehren und permanente Organe der Zelle darstellen sollen, die aber unabhängig von den Plastiden eine eigene Individualität besitzen. Wenn auch Mottier in seiner etwas kurz gefaßten Arbeit zwischen Plastiden und Chondriosomen scharf unterscheidet, so hat er doch im Sproßscheitel von Elodea die jungen Plastiden sicher nicht gesehen, sondern hat sie hier mit Chondriosomen verwechselt. Hierauf wird bei der Besprechung der Resultate an Elodea noch zurückzukommen sein.

Methodisches.

Als zuverlässigste Fixierungsmethode zur Erhaltung der Chondriosomen erwies sich das Regaudsche Gemisch in der Modifikation von Sapehin (19). Die Objekte wurden 4 Tage in einem Gemisch von 50 Volt. 10proz. Formol und 50 Volt. 2proz. Kaliumbichromat fixiert, wobei die Fixierungsflüssigkeit täglich erneuert wurde, und darauf 6 Tage mit 2proz. Kaliumbichromat nachbehandelt; nach mehrstündigem Wässern kamen sie dann in steigenden Alkohol. Bei kleinen Pflanzenteilen

[1]) Ein Teil der Untersuchungen wurde in den Ferien im Botanischen Institut in Freiburg i. B. angestellt. Für die liebenswürdige Überlassung eines Arbeitsplatzes spreche ich Herrn Geheimrat Oltmanns auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank aus.

genügte häufig auch schon eine 24stündige Fixierung mit Formalin-Kaliumbichromat und 48stündige Nachbehandlung in Kaliumbichromat. Es war dies die einzige Fixierung, die sich als absolut zuverlässig zur Erhaltung der Chondriosomen bewährte, alle anderen als Chondriosomen erhaltend angegebenen Gemische versagten des öfteren, soweit sie versucht wurden. Neben diesen Chondriosomen-Fixierungen wurden noch eine größere Anzahl anderer Fixierungsmittel angewandt, so namentlich Pikro-Formol nach Bouin und Sublimat-Alkohol-Eisessig nach Lenhossek, von denen Guilliermond (4) angibt, daß sie die Chondriosomen zerstören, die Plastiden aber erhalten sollen. Sie wurden daher ganz besonders zur Untersuchung der vorliegenden Frage herangezogen. Nach Einbetten in Paraffin wurden Schnitte von 2—4 μ Dicke hergestellt und auf verschiedene Weise gefärbt.

Weitaus die besten Bilder ergab die Färbung mit dem Altmannschen Säurefuchsin-Verfahren. Hierzu wurden die Schnitte 2—6 Stunden im Paraffinofen bei ca. 60° mit Säurefuchsin behandelt, mit Pikrinsäure differenziert und in Kanadabalsam eingeschlossen. Bei richtiger Differenzierung entfärbt sich das Plasma fast vollkommen, die Plastiden nehmen ein sattes Rot an und die Chondriosomen werden ebenfalls dunkelrot, jedoch etwas schwächer als die Plastiden. Das Chromatin der Kerne färbt sich nach Fixierung mit Formalin-Kaliumbichromat äußerst schwach, so daß die Umrisse der fast homogen erscheinenden Kerne nicht sehr auffällig sind; die Nukleolen dagegen werden tief braunrot. Die Färbung mit Säurefuchsin gelingt nur gut nach Fixierung mit chromhaltigen Gemischen; nur dann heben sich die Plastiden scharf vom Plasma ab. Derselbe Erfolg wurde jedoch auch nach Fixierungsmitteln erzielt, die kein Chrom enthalten, wenn die Schnitte vor dem Färben mehrere Tage in 1proz. Chromsäure oder 2proz. Kaliumbichromat gebeizt wurden. Die Färbung mit Heidenhainschem Eisenhämatoxylin und Alizarin-Kristallviolett nach Benda ergaben bei weitem nicht so gute Resultate wie das Säurefuchsin; Chondriosomen und Chromatophoren unterscheiden sich nur wenig in ihrer Tönung voneinander, und außerdem läßt sich das Cytoplasma nicht so weitgehend entfärben, wodurch die Bilder

sehr viel weniger übersichtlich werden. Im wesentlichen wurden die Fixierungen von Regaud und Lenhossek mit nachfolgender Säurefuchsinfärbung angewandt, doch wurden sämtliche Befunde auch mit anderen Fixierungs- und Färbemethoden nachgeprüft.

Zur Beobachtung wurden die Apochromat-Immersionen von Zeiss 2 mm, 1,4 num. Ap. und 1,5 mm, 1,3 num. Ap. in Verbindung mit den Kompensationsokularen 6, 8 und 12 angewandt. Die Figuren wurden sämtlich mit dem großen Abbeschen Zeichenapparat entworfen.

Elodea canadensis.

Die häufig auftretenden grünen Adventivwurzeln erwiesen sich als ganz vorzüglich geeignet zur Lebenduntersuchung der Plastiden im Vegetationspunkt. Aus der Wurzelspitze wurden dünne Längsschnitte zwischen Hollundermark hergestellt und im Wasser untersucht. Die Zellen sind sehr widerstandsfähig und lassen sich oft stundenlang ohne Schwierigkeiten am Leben erhalten. Ausgewachsene Zellen des Periblems zeigen einen kräftigen Plasmaschlauch, in welchem der Kern eingebettet liegt; die zentrale Saftvakuole ist meist von einigen starken Plasmasträngen durchzogen. Die Chromatophoren sind groß, schön grün und je nach dem Ernährungszustand der Wurzel mit mehr oder weniger großen Stärkekörnern angefüllt. In der Aufsicht sind sie rund bis oval, von der Seite gesehen linsen- bis stäbchenförmig. Manchmal zeigen sie sich halb von der Fläche und halb von der Seite, beim Weiterwandern mit der Plasmaströmung ist ihre körperliche Gestalt dann leicht festzustellen. Die bekannten biskuitförmigen Teilungsfiguren sind häufig zu sehen. Im Protoplasma, das in lebhafter Strömung begriffen ist, bemerkt man in großer Zahl Chondriosomen, die von der Plasmaströmung mit fortgerissen werden. Meist stellen sie feine, kürzere oder längere Stäbchen dar, die bisweilen an den Enden etwas verdickt erscheinen und sich in ihrem Lichtbrechungsvermögen nur wenig vom Plasma unterscheiden. Sie erscheinen vollkommen homogen, irgendwelche Struktur konnte in keinem Falle festgestellt werden. Ihre Größenverhältnisse sind erheblichen Schwankungen unterworfen. Wenn auch das Chondriom auf den ersten Blick sehr gleichförmig zu sein

scheint, so kann man bei genauerer Beobachtung doch feststellen, daß die einzelnen Chondriosomen sehr verschieden lang sind. Von ganz kurzen Stäbchen bis zu feinen Fäden, die etwa 6—8 mal so lang sind als breit, finden sich alle Übergänge. Doch herrscht in jeder einzelnen Wurzel eine bestimmte Chondriosomenlänge vor, so daß das Chondriom einer jeden Wurzel ein einheitliches Gepräge aufweist; Ernährungsverschiedenheiten mögen hierbei eine Rolle spielen. An den Ecken der Zellen, oder an Stellen, wo mehrere Chloroplasten zusammenliegen, stauen sich die Chondriosomen häufig und bilden dichte Ansammlungen, während sie in anderen Partien des Plamas nur spärlich vertreten sind. Diese Bilder ändern sich natürlich dauernd mit der Plasmaströmung. Auffällig und auch schon verschiedentlich von den Autoren erwähnt, sind die eigenartigen schlängelnden Bewegungen, die die längeren Stäbchen häufig ausführen. Wie schon Maximow (10) andeutet, scheint es sich jedoch hierbei nicht um eine selbständige Bewegung der Chondriosomen zu handeln, vielmehr werden die Fäden von dem strömenden Plasma hin- und hergebogen.

Die beschriebenen Verhältnisse sind in Fig. 1, Taf. I, die eine Kalyptrazelle seitlich des Meristems in vivo darstellt, sehr schön zu erkennen; die Chloroplasten führten in dieser Zelle keine Stärke, erst weiter nach der Spitze zu setzten große Stärkekörner ein. Die großen grünen Plastiden unterscheiden sich von den feinen stäbchenförmigen Chondriosomen sehr scharf und sind durch keinerlei Übergänge mit diesen verbunden.

In der Epidermis und im Plerom liegen die Verhältnisse gerade so wie im Periblem, nur sind hier die Plastiden sehr viel kleiner und führen geringere Stärkeeinschlüsse. Nach der Wurzelspitze zu nehmen die Chloroplasten allmählich an Größe und Zahl ab und sind dort meist auch schwächer gefärbt. Der Größenunterschied, der in ausgewachsenen Wurzelpartien zwischen den Plastiden des Periblems und denjenigen des Pleroms und der Epidermis zu beobachten war, gleicht sich nach dem Vegetationspunkt zu allmählich aus, und im äußersten Meristem schließlich zeigen alle Zellen das gleiche Bild. Taf. I, Fig. 2, zeigt eine Meristemzelle in vivo. Je nach den Ernährungs- und Beleuchtungsverhältnissen wechseln hier Größe der

Plasident und der Stärkeeinschlüsse und Intensität der Färbung. Immer aber heben sie sich deutlich vom Plasma ab. In ihrer Gestalt erscheinen sie sehr einheitlich rund, eiförmig oder oval, im Profil, im Gegensatz zu den stark linsenförmigen Gebilden der ausgewachsenen Zellen, nur wenig abgeplattet. Die typischen Teilungsfiguren sind häufig zu beobachten. Das Plasma enthält in großer Zahl Chondriosomen, die etwas kleiner sind wie diejenigen der ausgewachsenen Zellen, im übrigen aber dieselben Formverhältnisse aufweisen wie dort. Sie unterscheiden sich in ihrem Habitus ganz wesentlich von den runden bis ovalen Plastiden, und sind viel weniger lichtbrechend als diese, so daß eine Verwechslung der beiden Gebilde ganz ausgeschlossen erscheint; zwischen beiden sind keinerlei Übergänge zu beobachten (vgl. Fig. 2).

Nachdem es gelungen war, im Wurzelmeristem die Plastiden von den Chondriosomen morphologisch scharf zu unterscheiden, wurde versucht, ihr Verhalten gegenüber Reagenzien näher festzulegen. Von den vielen hierzu angewandten Mitteln seien nur einige charakteristische hier angeführt.

Der Versuch, Lebendfärbungen von Chondriosomen zu erhalten, ist in allen Fällen mißglückt. Weder Methylenblau und Neutralrot, noch Methylviolett und Dahlia in den verschiedensten Konzentrationen und von wenigen Minuten bis zu 48 Stunden zur Einwirkung gebracht, ließen eine Farbstoffspeicherung in den Chondriosomen erkennen, solange die Zelle normal war. Mit Methylenblau färben sich Plastiden und Chondriosomen sofort schwachviolett, sobald die Zellen absterben. In einzelnen Fällen konnte eine schwache, aber deutliche Färbung beobachtet werden, während sich das Plasma noch in Strömung befand; in solchen Zellen zeigte auch der Kern eine ganz lichte diffuse Färbung, während die Plastiden farblos und rein grün geblieben waren. Hier handelte es sich aber sicher um prämortale Erscheinungen; die Plasmaströmung war nur noch schwach, ein Teil der benachbarten Zellen war bereits abgestorben, und die Strömung in den in Frage kommenden Zellen nahm im Laufe der Untersuchung mehr und mehr ab. Dahingegen zeigten Zellen in den gleichen Schnitten, die sicher noch vollkommen intakt waren und lebhafte normale Plasmaströme auf-

wiesen, auch nicht die geringste Spur irgendwelcher Färbung von Chondriosomen und Kern. Diese Befunde an Elodea wurden an verschiedenen anderen Objekten nachgeprüft, so an Blattschnitten von Vallisneria, an Haaren von Momordica scandens, an Wurzelhaaren von Trianea u. a. Das Resultat war immer das gleiche, nie war an normalen lebenskräftigen Zellen irgendwelche Färbung von Chondriosomen oder Chromatophoren zu erkennen.

Die Angaben in der Literatur über Lebendfärbung der Chondriosomen sind nicht übereinstimmend. Guilliermond (2. S. 338) gibt an, daß er mit Dahlia und Methylviolett weder Färbung der Chondriosomen noch der Plastiden erhalten konnte. Dagegen erwähnt er 1913 (3), daß in den Zellen junger Blätter von Rosa und Iuglans diejenigen Chondriosomen mit Methylenblau in vivo färbbar seien, welche sich im Laufe der Ausdifferenzierung der Zellen in Anthocyanvakuolen umwandeln sollen. Ebenso weist er 1920 (5) nach, daß in den Wurzeln von Hordeum alle Chondriosomen, die sich weiterhin in Vakuolen umwandeln, von Neutralrot und Nilblau gefärbt werden. Beidemale dürfte es sich aber wohl kaum um Chondriosomen, sondern um die ersten Anfänge von Zellsaftvakuolen handeln; in solchen Fällen macht sich der Mangel einer Definition der Chondriosomen ganz besonders unangenehm bemerkbar. Arth. Meyer (14. S. 128) gibt für die »Allinante« von Allium cepa Färbbarkeit mit Neutralrot und Trypanblau an; mit letzterem Farbstoff sollen sich auch die Plastiden schwachblau färben. Dagegen lieferte ein Versuch mit Janusgrün, das für tierische Chondriosomen in der Literatur als besonders geeignet angegeben wird, keinen Erfolg. Auch die Chondriosomen von Polytrichum sollen sich mit Neutralrot färben lassen (14, S. 140).

Die Versuche über die Einwirkung verschiedenartiger Reagenzien wurden so vorgenommen, daß in den Schnitten durch die Objekte (bei Elodea Längsschnitte von Stengelstücken und Wurzelspitzen) einzelne Zellen mit guter Protoplasmaströmung herausgesucht wurden, und das Reagens bei dauernder Beobachtung der Chondriosomen seitlich unter das Deckglas gesaugt wurde.

Von den untersuchten Reagenzien zeigte Essigsäure die

charakteristischste Einwirkung. 30 proz. Essigsäure läßt die Chondriosomen sofort verquellen; sie verlieren vollkommen ihre Gestalt und werden zu ziemlich großen rundlichen bis eiförmigen Bläschen, die noch nach 24 Stunden schwach zu erkennen sind. 3 proz. Essigsäure hat denselben Erfolg, wirkt jedoch nicht ganz so stark wie 30 proz. Säure. Hier und da kann man noch undeutliche Stäbchengestalten unterscheiden, im übrigen verquillt aber auch hier alles zu bläschenartigen Gebilden. Im Gegensatz zu dieser charakteristischen Einwirkung auf Chondriosomen, erleiden die Chloroplasten in ihrer Form durch Essigsäure keine Veränderung; man kann auf diese Weise bei direkter Beobachtung in den Meristemzellen der Wurzel von Elodea die Chondriosomen zerstören, während die Chloroplasten unverändert erhalten bleiben. Über die Einwirkung von Essigsäure auf die Chondriosomen scheint Meyer (14, S. 126) bei Allium zu ähnlichen Resultaten gekommen zu sein, nur machte sich bei meinem Versuchen die Einwirkung der Säure offenbar rascher und stärker geltend.

Ähnliche Resultate bietet die Behandlung der Schnitte mit Salpetersäure. In 33 proz. HNO_3 verquellen die Chondriosomen sofort und scheinen zu zerfallen. Nach wenigen Minuten ist von ihnen nur noch ein körniges Gerinnsel übrig geblieben, das sich bei weiterem Verweilen in der Säure nicht mehr ändert. Auch in 3 proz. HNO_3 sind diese Vorgänge zu beobachten, doch gehen sie hier etwas langsamer vor sich; nach $1\frac{1}{2}$ Stunden ist von den Chondriosomen nichts mehr zu erkennen, während die Plastiden noch deutlich erhalten sind. Letztere sind etwas durchscheinend geworden und ein wenig geschrumpft. Die beschriebenen Erscheinungen stimmen mit den Angaben von Rudolph und Arth. Meyer nicht überein. Beide Forscher geben an, daß die Chondriosomen in Salpetersäure fixiert werden und ihre Gestalt unverändert bleibt.

10 proz. Ammoniak läßt die Chondriosomen zwar auch mehr oder weniger stark verquellen, doch bleiben ihre Formen immer noch erkennbar. Häufig verquellen die Enden etwas stärker, so daß die Hantelformen deutlicher hervortreten; auch durch längere Einwirkung des Reagens werden sie nicht gelöst. Im Gegensatz hierzu werden die Chloroplasten durchscheinend und

verquellen langsam; nach 2 Stunden sind sie so stark deformiert, daß bei vielen die Umrisse nicht mehr festgestellt werden können, eine unregelmäßige lichtgrün gefärbte Zone verrät allein noch die Stelle, wo vorher ein Chloroplast lag. Nach Arth. Meyer (14, S. 125 u. 136) wirkt Ammoniak auf die Chondriosomen von Allium in derselben Weise, während sie bei Mesembryanthemum und Polytrichum gelöst werden. Über die Wirkung auf die Chromathophoren werden nur bei Mesembryanthemum einige Angaben gemacht, die sich mit denen hier wiedergegebenen decken.

2proz. Kalilauge löst die Chondriosomen sofort auf; die Plastiden verquellen, werden aber innerhalb 2 Stunden nicht gelöst; soweit sie Stärke enthalten, platzen sie durch Verquellung der Stärke.

In 10proz. Formalin werden beide Gebilde gut fixiert, doch zeigen die Chondriosomen bisweilen ein ganz leichtes Verquellen.

Konzentrierte wäßrige Sublimatlösung läßt im ersten Augenblick ein schwaches Verquellen der Chondriosomen erkennen. Da jedoch das Plasma bald als dichtes körneliges Gerinnsel ausgefällt wird, ist das Schicksal der Chondriosomen nicht weiter zu verfolgen. Die Plastiden werden hingegen gut fixiert und sind noch nach vielen Stunden deutlich zu erkennen.

1proz. Osmiumsäure, 2proz. Kaliumbichromat und konzentrierte wäßrige Pikrinsäure fixieren die Chondriosomen vorzüglich. Sie behalten ihre ursprüngliche Form vollkommen bei, zeigen ganz glatte Umrisse und heben sich nunmehr sehr deutlich vom Plasma ab; die Plastiden werden von allen drei Reagenzien gut erhalten. Die Wirkung dieser Flüssigkeiten wird in der Literatur teils gerade so beschrieben, teils weichen die Angaben in unwesentlichen Punkten von meinen Befunden ab; im Prinzip scheinen sich die Chondriosomen der verschiedensten Pflanzen diesen Reagenzien gegenüber gleich zu verhalten.

Die angeführten Beobachtungen zeigen, daß es sowohl in Stengelschnitten wie im Wurzelmeristem von Elodea möglich ist, Plastiden und Chondriosomen durch ihr unterschiedliches Verhalten gegenüber verschiedenen Reagenzien bei direkter mikroskopischer Beobachtung scharf zu unterscheiden. Ganz besonders sei hier noch einmal hinge-

wiesen auf die Wirkung von Essigsäure, Ammoniak und Kalilauge. In Essigsäure werden die Chondriosomen bis zur Unkenntlichkeit deformiert, während die Plastiden vollkommen erhalten bleiben. Ammoniak hat den umgekehrten Erfolg, die Chromatophoren verquellen, manchmal bis zur völligen Unkenntlichkeit, die Chondriosomen bleiben dauernd gut unterscheidbar, wenn sie auch ihre Gestalt etwas verändern. Die Kalilauge schließlich löst die Chondriosomen augenblicklich auf, während die Plastiden trotz Verquellens ihre Gestalt und Farbe beibehalten und auch durch lange Einwirkung der Lauge nicht gelöst werden. Diese Unterschiede im Verhalten dieser beiden Gebilde gegenüber ganz verschiedenen Reagenzien dürften wohl überzeugend dartun, daß die Plastiden in ihrer stofflichen Zusammensetzung gänzlich anderer Natur sind als die Chondriosomen. Morphologisch sind sie in vivo im Meristem der Elodiawurzel scharf voneinander zu unterscheiden und durch keinerlei Übergänge miteinander verbunden und in stofflicher Hinsicht zeigen sie ebenfalls so bedeutende Unterschiede, daß an der Tatsache nicht zu zweifeln ist, daß wir es hier mit zwei voneinander gänzlich unabhängigen Inhaltsbestandteilen der Zelle zu tun haben.

Es erhebt sich nun die Frage, wie die Verhältnisse bei fixierten und gefärbten Präparaten liegen.

Betrachten wir zunächst Objekte, die mit dem Regaudschen Gemisch fixiert sind, bei denen also die Chondriosomen in ihrer natürlichen Form erhalten geblieben sind. Die im folgenden beschriebenen Präparate sind alle mit Säurefuchsin nach dem Altmannschen Verfahren gefärbt, doch wurden auch mit anderen Färbemethoden die gleichen Resultate erhalten. In Fig. 3, Taf. I, ist eine Rindenzelle bei 1000facher Vergrößerung abgebildet, die 3,5 mm von der Wurzelspitze entfernt liegt. Das Plasma umgibt als dicker Wandbelag den zentralen Zellsaftraum. In ihm liegt der Kern mit einem Nukleolus und zahlreiche Chloroplasten, die alle mehr oder weniger große Stärkekörner führen. Die Hülle, die der Chromatophor um das Stärkekorn bildet, ist sehr deutlich zu erkennen und tief rot gefärbt. Außerdem sieht man im Plasma verteilt die etwas schwächer gefärbten Chondriosomen als längere oder kürzere

Stäbchen, die bisweilen an einem oder beiden Enden schwach verdickt erscheinen. Sie machen einen recht gleichförmigen Eindruck und sind scharf von den Plastiden unterschieden. Übergangsformen zwischen den Plastiden und Chondriosomen sind nicht vorhanden. Die Zellen des Zentralzylinders zeigen dasselbe Bild, nur sind dort, gerade wie am lebenden Objekt, die Chloroplasten bedeutend kleiner und mit geringeren Stärkeeinschlüssen versehen.

Fig. 4, Taf. I, zeigt eine Pleromzelle 1 mm vom Meristem bei 2000facher Vergrößerung. Im Plasma sind mehrere Vakuolen verschiedener Größe zu sehen, zahlreiche Chloroplasten, teils mit, teils ohne Stärke, die tiefrot gefärbt sind, und etwas mattere Chondriosomen von denselben Formverhältnissen wie in Fig. 3. Rechts unterhalb des Kerns liegt ein Chloroplast in Teilung, dessen eine Hälfte ein Stärkekorn enthält.

Nach der Spitze zu nehmen die Plastiden dann weiterhin allmählich an Zahl und Größe ab, doch sind ihre endgültigen Ausmaße stark von den Ernährungs- und Beleuchtungsverhältnissen der einzelnen Wurzel abhängig. In Fig. 5, Taf. I, ist eine Meristemzelle aus einer anderen Wurzel abgebildet, die stark grün gefärbt war und dementsprechend zahlreichere und größere Chromatophoren enthält. Sie zeigen fast alle kleine Stärkeeinschlüsse, sind rundlich bis oval und unterscheiden sich scharf von den dazwischenliegenden Chondriosomen durch ihre Form, größeren Umfang und dunklere Färbung. Auch hier befindet sich wieder ein Chloroplast in Teilung. Irgendwelche Übergangsstadien zwischen Chondriosomen und Plastiden sind nicht vorhanden. Fig. 6, Taf. I, stellt eine Meristemzelle aus einem Präparat dar, das mit Eisenhämatoxylin gefärbt ist. Die Plastiden heben sich weniger scharf ab, als in den vorherbeschriebenen Präparaten; in der äußersten rechten Ecke ist ein Chloroplast in Teilung. Die Chondriosomen sind hier bei der Fixierung nicht verquollen: sie sind äußerst dünn und zart und entsprechen den Verhältnissen am lebenden Objekt sehr gut.

Schließlich sei noch auf Fig. 7, Taf. I, hingewiesen, die eine Kalyptrazelle seitlich des Meristems zeigt, als Gegenstück zu Fig. 1, einer Kalyptrazelle in vivo. Sie ist einer schwächer grün gefärbten Wurzel entnommen und führt somit kleinere Plastiden.

Nachdem es gelungen war, mit einem Fixierungsmittel, das die Chondriosomen zu erhalten gestattet, diese von den Chromatophoren im Meristem scharf zu unterscheiden, war die Frage zu untersuchen, ob es auch mit anderen Fixierungen möglich ist, die Chloroplasten im Vegetationspunkt sichtbar zu machen. Nach Guilliermond (2,4) werden bei Anwendung der Fixierungsgemische von Lenhossek und Bouin infolge des Gehalts an Alkohol und Essigsäure die Chondriosomen zerstört, die Plastiden bleiben jedoch erhalten, wenn auch ihre Gestalt etwas deformiert werden soll. Danach dürften im Meristem nach diesen Fixierungen keine der in Frage kommenden Inhaltsbestandteile des Plasmas zu finden sein, wenn Guilliermonds Angaben über die Entstehung der Chromatophoren zu Recht bestünden; erst wenn im Lauf der Umgestaltung aus Chondriosomen die Plastiden ein bestimmtes Stadium der Entwicklung erreicht haben, sollen sie von diesen Gemischen nicht mehr angegriffen werden. Die beschriebenen Lebenduntersuchungen haben gezeigt, daß im Wurzelmeristem von Elodea die Chondriosomen durch 3 proz. Essigsäure zum Verquellen gebracht werden, die Plastiden aber erhalten bleiben. Dasselbe Resultat ergab sich bei Einwirkung des Lenhossekschen Gemisches auf die lebenden Zellen bei gleichzeitiger Beobachtung. Es wurden nun grüne Wurzeln mit den beiden angegebenen Gemischen fixiert und mit Säurefuchsin gefärbt. Die Resultate waren bei beiden Fixierungen die gleichen.

Fig. 8, Taf. I. zeigt eine Periblemzelle 600 μ von der Spitze. Das Plasma, das einige Vakuolen enthält, ist zu einem fädigen Gerinnsel niedergeschlagen, das wohl hauptsächlich aus zerschlagenen Chondriosomen besteht und sich etwas stärker färbt, als die hyaline plasmatische Grundsubstanz. Bisweilen erkennt man noch undeutlich vereinzelte Körnchen, ja manchmal sogar etwas stäbchenförmige Gebilde, die von weniger deformierten Chondriosomen herrühren. Aus diesem Gerinnsel heben sich scharf und dunkel gefärbt die Chromatophoren ab, zum Teil mit Stärkeeinschlüssen versehen, und in Gestalt und Größe vollkommen übereinstimmend mit den Chromatophoren der Wurzeln, die mit dem Regaudschen Gemisch fixiert waren. Vgl. die Fig. 4 und 5, Taf. I.

Die Meristemzelle in Fig. 9, Taf. I entspricht genau den Figuren 5 und 6, bei denen die Chondriosomen erhalten sind; ein Chromatophor (rechts unterhalb des Kerns) ist in Teilung begriffen. Bei Anwendung von Eisenhämatoxylin und Alizarinkristallviolett färben sich die Chloroplasten nur ganz schwach, so daß sie sehr schwer in dem fädigen Gerinnsel des Plasmas zu erkennen sind. Das Plasmagerinnsel färbt sich auch mit diesen Farbstoffen ganz ähnlich, wie die Chondriosomen nach Fixierung mit Regaud, so daß die Annahme, dieses Fadengerüst werde in der Hauptsache aus der Substanz der zerschlagenen Chondriosomen gebildet, vollauf berechtigt erscheint.

Vergleicht man die Abbildungen lebender Zellen mit solchen, die mit Regaudschem Gemisch, und solchen, die nach Bouin oder Lenhossek fixiert sind, so fällt die außerordentliche Übereinstimmung der Chloroplasten auf, sowohl was ihre Gestalt wie was ihre Größe betrifft. Berücksichtigt man dazu noch die Resultate über die Einwirkung der verschiedenen Reagenzien auf die lebenden Zellen und die Bilder, welche diese Flüssigkeiten als Komponenten der angewandten Fixierungsgemische ergeben haben, so zeigt sich eine vollkommene Deckung und Ergänzung der Befunde, die mit den verschiedenen Untersuchungsmethoden erhalten worden sind. Nach alledem besteht kein Zweifel, daß in allen Zellen der Elodeawurzel Plastiden und Chondriosomen nebeneinander und unabhängig voneinander vorkommen, und daß von einer Entwicklung der Chromatophoren aus Chondriosomen keine Rede sein kann.

Die Beziehungen zwischen Chondriosomen und Chromatophoren waren in der Wurzelspitze verhältnismäßig leicht festzustellen. Es frug sich nun, ob die Verhältnisse im Sproß ebenso liegen. Die Angaben in der Literatur hierüber weichen stark von einander ab. Meyer (12) gibt im Vegetationskegel oberhalb der jüngsten Blattanlagen rundliche bis ovale Plastiden an, Mikosch (15) dagegen beschreibt die jungen Chlorophyllkörner als spindelförmige Gebilde. Am eingehendsten hat sich Lewitzky mit dieser Frage beschäftigt. Er untersuchte junge lebende Blätter von Elodea bis zu 0,3 mm Länge herab, und stellte fest, daß die Plastiden in diesen Blättchen »länglich, stäbchenförmig, einige lang-hantelförmig« seien und daß sie in

der Form eine auffällige Ähnlichkeit mit Chondriosomen zeigen. Diese Ähnlichkeit führt ihn zu dem Schluß, daß die Plastiden in der Basis junger Blätter durch Umwandlung aus Chondriosomen entstünden. Die Chondriosomen selber hat er nach seiner Beschreibung im Leben nicht gesehen.

Nun bietet die Lebenduntersuchung des Sproßscheitels von Elodea viel größere Schwierigkeiten, wie diejenige des Wurzelmeristems. Das liegt einmal an dem Umstand, daß in der äußersten Spitze des Sprosses die Plastiden farblos sind. Sodann ist der Vegetationspunkt nicht durchsichtig genug und schließlich sind seine Zellen so empfindlich gegen Verletzungen und Druck, daß es nicht möglich ist, genügend zarte Längsschnitte herzustellen. Durch vergleichende Untersuchung junger Blattanlagen im Leben und von Schnittserien an fixiertem und gefärbtem Material ist es jedoch auch hier gelungen, die Chromatophoren neben Chondriosomen bis in die äußerste Spitze nachzuweisen. Es liegen hier im Prinzip dieselben Verhältnisse vor, wie in der Wurzel. Die Plastiden im äußersten Meristem sind rundlich bis oval, etwa so, wie Meyer (12) sie abgebildet hat. Die Ursache, warum sie bisher an fixiertem Material nicht nachgewiesen werden konnten, dürfte darin liegen, daß sie sich nur äußerst schwer färben lassen, bzw., daß sie von der großen Zahl der Chondriosomen verdeckt werden.

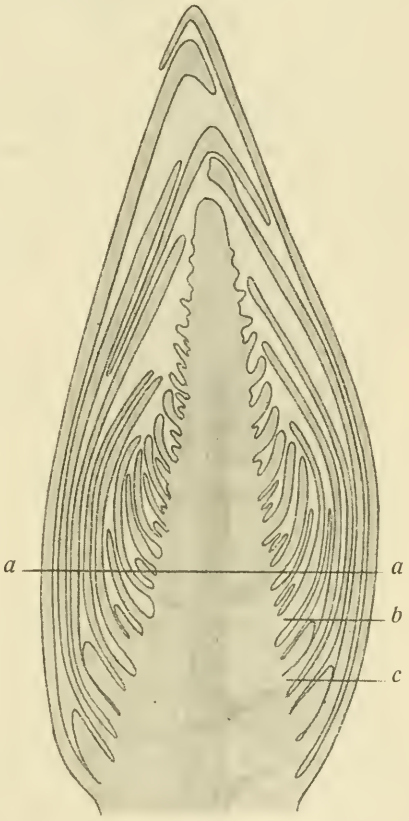


Abb. 1.

Was die des öfteren beschriebenen stäbchen-, hantel- und

spindelförmigen Gestalten in den jungen Blättern betrifft, so konnte festgestellt werden, daß es sich hier fast durchweg um Teilungsstadien handelt. Abb. 1 zeigt einen medianen Längsschnitt durch den Vegetationskegel eines Elodeasprosses. Sie zeigt, daß sich die Blattanlagen zunächst sehr langsam entwickeln und nur verhältnismäßig wenig an Größe zunehmen. Im Abstand von etwa 1 mm von der Spitze jedoch, etwa in der Höhe der mit a—a bezeichneten Linie, weisen die Blättchen ein plötzliches starkes Längenwachstum auf, so daß sie mit ihrer Spitze bald die Höhe des Sproßscheitels erreichen. Das Blättchen auf der rechten Seite, durch dessen Ansatzstelle die Linie a—a führt, hat eine Länge von etwa 0,3 mm, das nächst untere der ganzen Länge nach getroffene ist über 0,45 mm lang (bei b), und wiederum das nächste mißt schon 0,9 mm (bei c). Dieser Zone starker Streckung wird ganz natürlich auch eine intensive Vermehrung der Plastiden entsprechen, so daß von vornherein anzunehmen ist, daß während dieses Entwicklungsstadiums in den einzelnen Blättchen auch eine sehr große Zahl von Teilungsstadien anzutreffen ist. Und gerade dieser Zone waren die Blättchen entnommen, die Lewitzky untersucht hat und die, wie er angibt, »meistens etwa 0,5 mm lang« gewesen sind.

Es ist nicht schwer, junge Blätter in jeder gewünschten Länge unversehrt vom Sproßscheitel abzutrennen. Dekapitiert man mit einem scharfen Messer die Sproßspitze und bringt sie in einen Tropfen Wasser, so fallen schon von selbst die angeschnittenen Blättchen auseinander und man kann bequem mit Hilfe von Nadeln diejenigen Blättchen isolieren, bei denen der Schnitt gerade durch die Ansatzstelle führt. Je nach der Höhe, in der man den Schnitt führt, lassen sich auf diese Weise Blätter bis zu 0,2 mm herab abpräparieren. Noch jüngere Entwicklungsstadien kann man bei guter Beleuchtung direkt am Sproßscheitel studieren.

Fig. 17, Taf. II, zeigt eine Zelle aus der Spitze eines zirka 0,9 mm langen Blattes. Man sieht rundliche bis eiförmige Plastiden, die zum Teil in Teilung begriffen sind und schön grün erscheinen. Einzelne Chloroplasten zeigen ihre Profilansicht und erscheinen infolgedessen dunkler grün. Die Chloroplasten be-

sitzen also auch hier die typische Gestalt, wie wir sie von der Wurzel her kennen; es sind rundliche bis ovale und linsenförmig abgeplattete Gebilde. Zwischen den Plastiden ist das Plasma erfüllt mit zahlreichen länger oder kürzer stäbchenförmigen, geraden oder gebogenen Chondriosomen, die sich auch hier wieder in ihren Lichtbrechungsverhältnissen scharf von den Plastiden unterscheiden und durch keinerlei Übergangsstadien mit diesen verbunden sind. In der abgebildeten Zelle führten die Chlorophyllkörner keine Stärke; meist zeigen sie jedoch mehr oder weniger große Stärkeeinschlüsse je nach dem Ernährungszustand. Im Prinzip haben wir hier wieder dieselben Bilder vor uns, wie sie uns bereits bei der Wurzel vorlagen (vgl. z. B. die Figg. 1 und 4, Taf. I).

Bei Untersuchung jüngerer Blätter fällt sofort namentlich an der Basis die große Zahl gestreckter Chloroplastenformen auf. Nach der Spitze des Blattes zu treten die länglichen Formen etwas zurück, was verständlich ist, wenn man bedenkt, daß die Hauptwachstumszone in der Basis des Blattes gelegen ist. In Abb. 2 sind die häufigsten Typen aus einem 0.5 mm langen Blättchen zusammengestellt. Zum Vergleich sind einige Chondriosomenformen aus denselben Zellen bei gleicher Vergrößerung hinzugefügt. Die Plastiden sind auch hier schön grün, aber bedeutend kleiner wie in den älteren Blättern. Die rundlichen bis ovalen Formen (Abb. 2, 1—5) sind in den einzelnen Zellen bis zu etwa 40% vertreten, der Rest setzt sich zusammen aus spindel-, biskuit- oder stäbchenförmigen Gebilden (6—18). Diese fallen bei der Beobachtung ganz besonders auf, so daß die runden Formen leicht übersehen werden. Ein Teil der gestreckten Typen dürfte Plastiden in Profilansicht darstellen; dies ist bei der geringen Größe der in Frage kommenden Gebilde und der trägeren Plasmaströmung im einzelnen Fall nicht

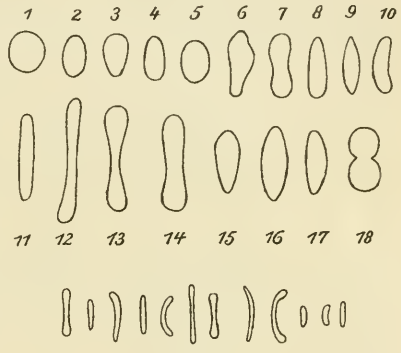


Abb. 2.

so sicher festzustellen, wie bei älteren Blättern. Auch kommt hier dazu, daß gerade wie bei der Wurzel die Chromatophoren in den jüngeren Sproßteilen nicht mehr so ausgesprochen linsenförmig sind und in der Profilansicht im Verhältnis zu ihrem Durchmesser nicht so stark abgeplattet erscheinen. Der größte Teil der länglichen Formen zeigt uns Chloroplasten in Teilung. Äußerlich ist in den Formverhältnissen eine gewisse Ähnlichkeit mit den Chondriosomen häufig nicht zu verkennen. Abgesehen von ihrer größeren Gestalt und ihrer grünen Farbe unterscheiden sie sich jedoch scharf durch ihre Lichtbrechungsverhältnisse von diesen und auch hier ist von Übergangsstadien zwischen beiden nichts zu bemerken.

Bei der Betrachtung noch jüngerer Blattanlagen ist sodann festzustellen, wie die langgestreckten Formen völlig wieder verschwinden. In Blatthöckern, die 550 bzw. 440 μ von der Spitze entfernt und nicht vom Sproßscheitel abgetrennt waren, zeigten alle Plastiden Formen, wie sie in Abb. 3 wiedergegeben sind. Sie sind hier viel weniger zahlreich, als in älteren Blättern, sehr klein und nur ganz blaß grün; bei günstiger Beleuchtung sind sie aber auch hier einwandfrei festzustellen. Alle zeigen rundliche bis ovale Gestalt (Abb. 3, 1—6), haben häufig kleine Stärkeeinschlüsse und sind in der Profilansicht etwas abgeplattet (7—9). Ihre Konturen erscheinen bisweilen etwas kantig. Hier und da bemerkt man auch typische biskuitförmige Teilungsfiguren. Der bisher beschriebene Unterschied von den Chondriosomen ist auch hier mit aller Deutlichkeit zu erkennen.

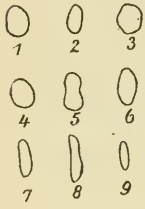


Abb. 3.

Der jüngste Sproßteil, in dem ich Plastiden noch im Leben erkennen konnte, war der 4. Blatthöcker von oben. Hier sah ich einmal sehr schwach gefärbte runde bis eiförmige Gebilde, die zum Teil deutlich Stärke enthielten. Die Chondriosomen waren gut zu erkennen und unterschieden sich so vollkommen von den Plastiden in Gestalt, Farbe und Lichtbrechung, daß eine Verwechslung dieser beiden Zellbestandteile gänzlich ausgeschlossen erschien.

Die beschriebenen Befunde bei der Lebenduntersuchung wurden auch hier häufig durch Zusatz von Reagenzien wie

Jodjodkali, Kaliumbichromat oder Pikrinsäure nachgeprüft. Die Ergebnisse der Beobachtung im Leben erfuhren durch solche Reagenzien stets eine volle Bestätigung.

Gehen wir nun zur Betrachtung der Bilder von fixiertem und gefärbtem Material über. Zunächst seien die Resultate besprochen, die nach Fixierung mit dem Regaudschen Gemisch erhalten wurden, bei denen also die Chondriosomen naturgetreu konserviert waren. Fig. 10, Taf. I, zeigt eine Mesophyllzelle aus einem zirka 1200 μ langen Blatt. Das Bild ist ungefähr das gleiche wie in Fig. 17 (Blattzelle in vivo). Die tief rot gefärbten, zum Teil in Profilansicht liegenden Plastiden unterscheiden sich scharf von den schwächer gefärbten, feinen Chondriosomen. Die Gestalt der Chloroplasten ist rund bis oval, langgestreckte Formen kommen nicht vor. Ähnlich ist das Bild, welches Fig. 11, Taf. I, bietet und das einem 800 μ langen Blatt entnommen ist. Die Teilungsstadien sind hier häufiger als im vorigen Blatt, und soweit langgestreckte Plastidenformen vorkommen, sind sie einwandfrei als Teilungsstadien zu erkennen.

Schwieriger wird die Beurteilung bei der nächsten Abbildung, Fig. 12, Taf. I, einer Zelle aus einem zirka 500 μ langen Blatt. Die vielen langgestreckten Plastidenformen fallen sofort in die Augen. Einzelne zeigen rein äußerlich eine gewisse Ähnlichkeit mit Chondriosomen, doch sind die Plastiden, abgesehen von ihrer Größe, deutlich an ihrer dunkleren Färbung zu erkennen. Noch schwieriger wird die Deutung in Mesophyllzellen etwa 300 μ langer Blätter, wie eine solche in Fig. 13, Taf. I, wiedergegeben ist. Die Größe der Plastiden hat weiterhin abgenommen, doch führen sie immer noch zum Teil Stärkeeinschlüsse. Auch ihre Zahl hat sich erheblich vermindert. Die langgestreckten Formen sind häufig vertreten und nähern sich manchmal in Gestalt und Größe so stark den größeren Chondriosomen, daß es bisweilen schwierig ist, diese beiden Gebilde zu unterscheiden. Dazu kommt noch, wie bereits erwähnt, daß die Chondriosomen im Regaudschen Gemisch manchmal eine Spur verquellen, so daß sie sich auch dadurch in der Gestalt den Plastiden etwas nähern. Im allgemeinen erkennt man bei der Betrachtung solcher Schnitte die

Chloroplasten bald an ihren größeren Ausmaßen und an ihrer dunkleren Färbung; in einzelnen Fällen jedoch ist es nicht mit Sicherheit festzustellen, zu welcher der beiden Kategorien ein in Frage kommendes Gebilde zu stellen ist. In der abgebildeten Zelle lagen die Verhältnisse ziemlich einfach; hier sind 11 Plastiden zu sehen. Die Ähnlichkeit zwischen Plastiden und Chondriosomen zeigt sich besonders deutlich, wenn man den Chloroplast recht unterhalb des Kerns an der Zellwand vergleicht mit den beiden Chondriosomen, die unter dem Nukleolus über Kreuz liegen.

Diese Unsicherheit verschwindet jedoch, sobald wir zur Betrachtung noch jüngerer Sproßpartien übergehen. Fig. 14, Taf. I, zeigt uns eine Zelle aus einem 100 μ langen Blättchen. Hier sind Chromatophoren von Chondriosomen wieder deutlich zu unterscheiden. Die dunkler gefärbten Chloroplasten zeigen wieder mehr rundliche bis ovale Gestalt und heben sich von den fein stäbchenförmigen Chondriosomen gut ab. Die Ansatzstelle dieses Blattes ist etwa 550 μ vom Sproßscheitel entfernt; die Zelle der Fig. 14 ist somit ungefähr derselben Partie entnommen wie die Plastiden in Abb. 3. Einzelne Chromatophoren zeigen noch kleine Stärkeeinschlüsse. Ihre Zahl hat weiterhin abgenommen. Noch deutlicher wird der Unterschied in den beiden folgenden Figuren. Fig. 15 und 16, Taf. I, geben Zellen aus dem vierten Blatthöcker (der jüngsten Partie, in der im Leben Plastiden noch beobachtet werden konnten) und dem Dermatogen der äußersten Spitze wieder; hier unterscheiden sich die recht kleinen und wenig zahlreichen Plastiden durch ihre rundliche Form sehr deutlich von den Chondriosomen. In Fig. 15 sind 7 Chromatophoren zu sehen; in dieser Gegend des Sproßscheitels führen sie nur noch ausnahmsweise ganz kleine Stärkekörner, meist sind sie völlig stärkefrei. Fig. 16 zeigt nur 3 Plastiden. Die geringe Zahl mag zunächst auffällig erscheinen, doch ist dabei zu bedenken, daß solche Zellen immer 11—12 μ dick sind; die Schnittdicke beträgt nur 3 μ, die ganze Meristemzelle wird somit mindestens 12—15 Chromatophoren enthalten, die immer völlig stärkefrei sind. Vergleicht man diese beiden Abbildungen mit den Fig. 5 und 6, Meristemzellen der Wurzel, so ist die Ähnlichkeit in der Gestalt der Plastiden ganz offenbar, nur sind

sie im Sproßscheitel viel kleiner, da sie noch nicht in Funktion getreten sind, während wir in der Wurzel schon lebhaft assimilatorisch tätige und mit Stärkeeinschlüssen versehene Chloroplasten vor uns haben.

Wenn die bisher betrachteten Präparate aus dem Sproßscheitel noch einen Zweifel über die Unabhängigkeit der Plastiden von den Chondriosomen bestehen ließen, so werden die letzten Bedenken zerstreut bei Betrachtung von Präparaten, die mit chondriosomenzerstörenden Mitteln fixiert sind. Wegen des beschränkten Raumes seien hier nur zwei Abbildungen wiedergegeben, die beide nach Präparaten angefertigt worden sind, die mit dem Lenhossekschen Gemisch fixiert wurden. In Fig. 18, Taf. II, ist eine Zelle aus einem 700 μ langen Blatt abgebildet. Auch hier ist wie bei der Wurzel das Plasma fädig-netzig ausgefällt, von Chondriosomen nichts mehr zu erkennen. Die Plastiden zeigen überwiegend längliche Formen und enthalten fast stets Stärke. Einige Teilungsstadien sind deutlich zu erkennen. Das Bild ähnelt außerordentlich den beiden Abbildungen 11 und 12 aus 800 bzw. 500 μ langen Blättchen, nach Fixierung mit Regauldschem Gemisch. Fig. 19, Taf. II, zeigt eine Dermatogenzelle der äußersten Spitze. Hier sind deutlich 4 Chromatophoren zu erkennen, die sich durch ihre dunklere Färbung schön von dem fädig geronnenen Plasma abheben. In Zahl, Form und Größe stimmen sie sehr gut überein mit den Plastiden, die in Fig. 16 abgebildet sind, so daß nunmehr kein Zweifel besteht, daß es sich bei den dort beschriebenen Gebilden wirklich um Plastiden handelt.

Schließlich sei noch kurz eine andere Methode beschrieben, die zur Erkennung der Plastiden im Vegetationspunkt des Sprosses angewandt wurde. Untersucht man Schnittserien von Sproßscheiteln vor dem Färben in Jodjodkali, so färben sich die Stärkekörner tief blauschwarz, während die sie einschließenden Plastiden etwas dunkler gelb gefärbt erscheinen, als das umgebende Plasma, und ihren Umrissen nach deutlich zu erkennen sind. Von so behandelten Präparaten wurden mit dem Zeichenapparat Skizzen einzelner genau festgelegter Zellen aller Altersstadien angefertigt und darin Lage und Form der Plastiden sowie Lage und Form der eingeschlossenen Stärkekörner auf-

gezeichnet. In älteren Zellen mit reichlichen Stärkeeinschlüssen ist dies nicht schwer, schwieriger war es jedoch, die Chromatophoren mit ganz kleinen Stärkekörnern oder ohne solche sicher zu erkennen. Der Vergleich mit dem Aussehen älterer Plastiden erlaubt es jedoch nach einiger Übung, auch in den jüngsten Sproßpartien, wenn nicht alle, so doch einige Chromatophoren mit Sicherheit festzustellen. Nach Entfernung des Jods durch Alkohol wurden die Präparate wie gewöhnlich gefärbt. An Hand der Skizzen ließen sich dann die aufgezeichneten Plastiden wiederfinden; sie stimmten in der Lage, wie auch in ihrer Gestalt, in allen Altersstadien des Sproßscheitels mit den Beobachtungen am ungefärbten Präparat überein.

Die Lebendbeobachtung des Sproßscheitels hatte es aus technischen Gründen nicht erlaubt, die Plastiden neben den Chromatophoren im äußersten Vegetationspunkt festzustellen. Die Tatsache jedoch, daß in den jüngsten in vivo zur Beobachtung gelangten Scheitelpartien die Plastiden wieder ihre normale rundliche ovale Gestalt annehmen, die übereinstimmende Beobachtung im Leben mit den Resultaten mit verschiedenen Fixierungsmitteln und die lückenlose Fortsetzung der Untersuchung an fixiertem Material bis in die äußerste Sproßspitze, und schließlich die Übereinstimmung der Befunde im Sproß mit denjenigen in der Wurzel zeigen auf das deutlichste, daß auch im Sproßscheitel von Elodea die Plastiden keinesfalls durch Umwandlung aus Chondriosomen entstehen, daß sie auch hier neben und unabhängig von den Chondriosomen in den Zellen vorhanden sind, und sich nur durch Teilung vermehren können.

Mottier (16, S. 105—107) bespricht die Entwicklung der Plastiden im Sproßscheitel und in jungen Blättern von Elodea, leider jedoch ohne Abbildungen zu geben. Er beschreibt die Chloroplasten in jugendlichen Blättern als lang-stäbchenförmige Gebilde, von denen alle Übergänge bis zu den großen runden bis ovalen Plastiden in erwachsenen Blättern zu beobachten sind; dazwischen liegen körnerförmige Chondriosomen in großer Zahl. Im Meristem findet er zahlreiche stäbchenförmige Gebilde, die als die »Primordia« der Plastiden angesehen werden, und kugelige Chondriosomen. Er zieht mit den Worten »the

transformation of these rods into chloroplasts and leucoplasts has been described in the foregoing«[1] den Schluß, daß sich diese Stäbchen im Meristem durch Vergrößerung in die langstäbchenförmigen Chloroplasten der jungen Blätter umbilden sollen, ohne diesen Vorgang näher verfolgt zu haben. Nach den vorliegenden Untersuchungen ist es augenscheinlich, daß Mottier im Meristem die jungen Plastiden gar nicht zu sehen bekommen hat, und daß er typische Chondriosomen als die Vorstufen der Chromatophoren anspricht, ein Irrtum, der durch die von Mottier angewandten Färbemethoden bedingt sein dürfte.

Pelargonium zonale.

Das zweite Objekt, bei dem die Beziehungen zwischen Chondriosomen und Chromatophoren studiert wurden, war Pelargonium zonale. Aus praktischen Gründen wurden hierzu junge 3—6 Wochen alte im Warmhaus gezogene Keimpflanzen benutzt. Die Untersuchung lebenden Materials gestaltete sich hier sehr viel schwieriger als bei Elodea; die Zellen sind gegen Verletzung und Druck äußerst empfindlich; dazu ist man für die Untersuchung des Sproßscheitels auf Schnitte angewiesen. In ausgewachsenen Zellen des Stengels gelingt es verhältnismäßig leicht, die Chondriosomen im Plasma zu erkennen. Sie sind etwas dicker und kürzer als bei Elodea und stellen im allgemeinen ganz kurze Stäbchen oder Körnchen dar, die ungefähr die gleichen Lichtbrechungsverhältnisse aufweisen wie diejenigen von Elodea, sich aber doch etwas weniger vom Plasma abheben. Der Unterschied von den großen runden, linsenförmigen und mit Stärke versehenen Chloroplasten ist äußerst augenfällig; sie sind mit diesen durch keinerlei Übergänge verbunden. Nach dem Scheitel zu nehmen die Plastiden allmählich an Größe ab und zeigen nicht mehr dieselbe ausgesprochene Abplattung wie die voll ausgebildeten Chromatophoren. Die Chondriosomen verlieren nach dem Vegetationspunkt zu etwas, aber nicht wesentlich, an Größe. Bis etwa zur fünften Schicht des Meristems sind die Plastiden noch ohne Schwierigkeiten zu unterscheiden. Sie stellen rund-

[1]) Gemeint ist die Beschreibung des Überganges der stäbchenförmigen Chloroplasten junger Blätter zu den rundlich ovalen Plastiden in erwachsenen Blättern.

liche bis ovale Körperchen dar, die etwas abgeplattet erscheinen und die in der Spitzenregion farblos sind. Meist führen sie deutliche kleine Stärkeeinschlüsse. Darüber hinaus sind sie in den relativ kleinen Meristemzellen nur sehr schwer zu erkennen. An geeigneten Schnitten und bei guter Beleuchtung sind sie aber auch hier einwandfrei festzustellen als runde bis ovale, farblose, stärker als das Plasma lichtbrechende Körnchen, die häufig kleine Stärkeeinschlüsse enthalten. Fig. 20, Taf. II, zeigt eine derartige Zelle. Die Chondriosomen sind ebenfalls nur in ganz günstigen Fällen zu erkennen, dann aber ohne Zweifel identifizierbar. In ihrer Form sind sie ziemlich konstant und unterscheiden sich sehr deutlich von den Plastiden durch ihr geringes Lichtbrechungsvermögen. Übergangsstadien zwischen beiden waren in keinem Fall zu beobachten.

Um sicher zu sein, bei der Beobachtung der Plastiden im Meristem keiner Täuschung zu unterliegen, wurden die Befunde jeweils durch Zusatz von Jod oder Kaliumbichromat nachgeprüft. Das häufige Vorkommen von kleinen Stärkekörnern auch in den äußersten Meristemzellen wurde durch die Jodprobe bestätigt; die Plastiden hoben sich dann hier, wie nach Behandlung mit Kaliumbichromat, deutlich durch ihre etwas dunklere Tönung ab. Ebenso waren die Chondriosomen nach Zusatz von Kaliumbichromat deutlicher vom Plasma zu unterscheiden. Wegen der Schwierigkeit der Beobachtung konnten die anderen bei Elodea angewandten Reagenzien im Meristem nicht nachgeprüft werden; in erwachsenen Zellen wurde darauf verzichtet, da ein eingehenderes Studium der Chondriosomen nicht im Rahmen der Arbeit lag.

Die Betrachtung fixierten und gefärbten Materials ergab wieder ähnliche Bilder wie bei Elodea, nur daß hier die starke Streckungszone der jungen Blätter wegfällt und somit ein zeitweises Auftreten der langgestreckten Plastidenformen nicht zu konstatieren ist. In ausgewachsenen Zellen zeigen sich die Chondriosomen nach Fixierung mit Regaud wiederum als kurze Stäbchen, die gerade, gebogen und manchmal an den Enden etwas hantelförmig verdickt erscheinen. Dazwischen liegen die großen dunkler gefärbten runden bis ovalen Chromatophoren mit linsenförmiger Abplattung und häufig zwei bis mehreren Stärkekörnern.

Nach dem Meristem zu verlieren die Plastiden und die Stärkeeinschlüsse allmählich an Größe. Fig. 21, Taf. II, gibt eine Pleromzelle etwa 250 μ vom Vegetationspunkte entfernt bei 1250 f. Verg. wieder. Plastiden und Chondriosomen sind scharf zu unterscheiden und durch keine Übergänge miteinander verbunden. Sehr schön ist auf diesem Bild die geringere Abplattung der beiden im Profil sichtbaren Chromatophoren zu sehen. In den Meristemzellen heben sich ebenfalls wieder Chondriosomen und Plastiden deutlich voneinander ab (Fig. 22, Taf. II). Die letzteren fallen von vornherein durch ihre tiefdunkle Rotfärbung bei Verwendung von Säurefuchsin auf. Sie sind verhältnismäßig groß, rund bis oval und häufig mit Stärkeeinschlüssen versehen, die mit Jod am ungefärbten Präparat leicht als solche nachzuweisen sind. Teilungsstadien sind in den Meristemzellen keine seltene Erscheinung. Die Chondriosomen zeigen die bereits beschriebene Gestalt und sind etwas lichter gefärbt als die Plastiden.

Bei Anwendung chondriosomenzerstörender Fixierungsmittel zeigt auch hier das Plasma ein fädig-netziges Gerinnsel, das sich ähnlich wie die Chondriosomen färbt und durch zerschlagene Chondriosomen hervorgerufen sein dürfte; die Plastiden treten deutlich hervor. Fig. 23 und 24, Taf. II, zeigen eine 80 μ von der Spitze entfernte Pleromzelle und eine Zelle aus dem Dermatogen des Scheitels, bei denen diese Verhältnisse klar zu Tage treten. Sodann sei noch auf Fig. 25, Tafel II, hingewiesen, die eine Meristemzelle darstellt aus Material, das nach Petrunkewitsch fixiert und mit Säurefuchsin gefärbt ist. Dieses Fixierungsmittel zerstört die Chondriosomen nicht so vollständig wie das Lenhosseksche Gemisch; einzelne Chondriosomen, oder Reste von solchen, sind hier noch gut zu erkennen. Dazwischen sieht man die schön erhaltenen Plastiden, die zum Teil Stärke führen.

Nachdem auch bei diesem Objekt das Vorhandensein der Plastiden neben den Chondriosomen im Vegetationspunkt mit den verschiedensten Methoden nachgewiesen war, schien es wünschenswert, auch die Verhältnisse in den Fortpflanzungszellen einer Prüfung zu unterziehen, namentlich da Guilliermond (2) angibt, daß auch in den Karpellen bei Lilium candi-

dum und rubrum etwa zur Zeit der Teilungen des Embryosackkerns die Entstehung der Plastiden aus den Chondriosomen deutlich zu verfolgen sei: die äußersten Zellschichten der Ovula zeigten gut ausgebildete Plastiden, die innersten Nucelluszellen nur Chondriosomen; dazwischen sollen alle Übergänge der Entwicklung zu erkennen sein. Dementsprechend gibt er im Text und in den Abbildungen im Embryosack wie in den Pollenmutterzellen und fertigen Pollenkörnern nur Chondriosomen an, aber keinerlei Plastiden.

Von den in dieser Richtung angestellten eigenen Untersuchungen seien hier nur einige wenige Abbildungen wiedergegeben von Material, das mit Lenhossekschem Gemisch fixiert ist, also keine Chondriosomen mehr enthält. Die Untersuchung nach Regaud fixierter Objekte zeigte in allen Stadien Chondriosomen neben Chromatophoren, wie das ja nicht anders zu erwarten war. Fig. 26, Taf. II, gibt eine Pollenmutterzelle kurz vor der Synapsis wieder. In dem fädig-netzig gefällten Plasma sind große mit Stärkeeinschlüssen versehene Chromatophoren zu sehen. Ebenso zeigt Fig. 27, Taf. II, die ein junges Pollenkorn darstellt, mit großer Deutlichkeit die Plastiden, zum Teil mit Stärkeinhalt. Fig. 28, Taf. II, führt eine Zelle vor, die einer gerade als Höcker erkennbaren jungen Samenanlage entnommen ist; auch hier wieder schön ausgebildete Plastiden mit oder ohne Stärke. Desgleichen Fig. 29 und 30, Taf. II, die eine Makrosporenmutterzelle vor der Synapsis, bzw. eine (schief getroffene) Eizelle darstellen. Namentlich in allen Protoplasten des fertig ausgebildeten Embryosackes sind sehr zahlreiche Plastiden vorhanden, die fast alle mehr oder weniger große Stärkekörner führen. Auch in den Antherenwandungen, wie in den Karpellen sind in allen Stadien Plastiden mit verhältnismäßig großen Stärkeeinschlüssen leicht nach jeder Fixierung und Färbung festzustellen.

Diese Bilder zeigen, daß auch in den Fortpflanzungszellen die Plastiden durchaus ihre eigene Individualität beibehalten und neben und unabhängig von den Chondriosomen festzustellen sind.

Impatiens parviflora.

Was bei Pelargonium über die Schwierigkeiten der Lebenduntersuchung gesagt wird, gilt auch für Impatiens. Doch ist

es auch hier bei einiger Geduld möglich, in den Zellen des Sproßscheitels Plastiden neben Chondriosomen festzustellen und die Beobachtungen durch Zusatz von Jodjodkali, Kaliumbichromat oder Pikrinsäure nachzuprüfen.

In ausgewachsenen Zellen des Stengelparenchyms sind die Chondriosomen nicht allzuschwer zu erkennen. Sie zeigen ähnliche Formen wie bei Elodea, längere oder kürzere, gerade oder gebogene Stäbchen, die bisweilen an einem oder beiden Enden etwas verdickt erscheinen. Die großen linsenförmigen Plastiden enthalten fast durchweg mehrere Stärkekörner.

Nach der Spitze zu nehmen sie an Größe ab und die Zahl ihrer Stärkeeinschlüsse wird geringer; in der Nähe des Meristems führen die Plastiden nicht mehr als je ein Stärkekorn. Bis etwa zur 6. Lage des Vegetationspunktes sind die Chromatophoren noch leicht festzustellen. Sie stellen ziemlich stark lichtbrechende, dick-linsenförmige Gebilde dar, die noch ganz schwach grün gefärbt erscheinen. Bei den meisten Exemplaren sind deutlich kleine Stärkekörner festzustellen. Darüber hinaus werden die Chromatophoren farblos und sind hier wie bei Pelargonium nur in günstigen Präparaten und bei guter Beleuchtung zu erkennen. Ihre Gestalt ist rundlich bis oval, in der Profilansicht erscheinen sie schwach abgeplattet. Sie sind etwas kleiner als die entsprechenden Gebilde bei Pelargonium, im übrigen ähneln sie ihnen jedoch weitgehend. Der Gehalt an Stärke ist im Meristem ziemlich unterschiedlich. Meist sind die äußersten Zellen frei von solchen Einschlüssen, ab und zu findet man jedoch Exemplare, deren Plastiden im Dermatogen vereinzelt Stärkekörner führen. Die Chondriosomen sind schwer zu erkennen, lassen sich aber auch hier mit einiger Geduld feststellen. Sie sind sehr zahlreich und heben sich in ihrer Lichtbrechung nur ganz schwach vom Plasma ab. Wie bei den anderen Objekten, so ist auch hier eine Verwechslung zwischen Plastiden und Chondriosomen infolge ihrer Unterschiede in Gestalt und Lichtbrechung ausgeschlossen. Fig. 31, Taf. II gibt eine subepidermale Zelle aus dem Sproßscheitel wieder; neben zahlreichen Chondriosomen sind sechs rundliche bis ovale Chromatophoren zu sehen.

Die Bilder fixierter und gefärbter Präparate ähneln so sehr

denjenigen bei Pelargonium, daß wir uns bei ihrer Beschreibung kurz fassen können. Ausgewachsene Stengelparenchymzellen zeigen große, linsenförmige, mit Säurefuchsin tiefrot gefärbte Chromatophoren und daneben etwas schwächer rote Chondriosomen, die in ihrer Länge ziemlich stark variieren. Nach dem Scheitel zu werden die Plastiden kleiner und auch die Chondriosomen nehmen in ihrer Größe etwas ab. Fig. 32, Taf. II zeigt eine Zelle aus einem nach Regaud fixiertem Präparat 100 μ von der Spitze. Die Chondriosomen unterscheiden sich von den Chromatophoren sehr deutlich. In Fig. 33, Taf. II ist eine Meristemzelle aus der dritten Schicht des Vegetationspunktes dargestellt. Die Plastiden sind rundlich bis oval und führen alle kleine Stärkekörner, die Chondriosomen erscheinen kürzer oder länger stäbchenförmig, manchmal mit etwas verdickten Enden. Auch hier wieder sind die Plastiden tiefrot gefärbt, etwas schwächer die Chondriosomen.

Fig. 34 und 35, Taf. II schließlich zeigen zwei entsprechende Zellen aus nach Lenhossek fixiertem Material, die eine etwa 300 μ von der Spitze, die andere eine Dermatogenzelle des Scheitels darstellend. Die Chondriosomen sind zerstört, die Plastiden jedoch erhalten und mit großer Deutlichkeit zu erkennen.

Die Untersuchung der Fortpflanzungszellen ergab die gleichen Resultate, wie bei Pelargonium. In allen Entwicklungsstadien sind überall Plastiden neben Chondriosomen festzustellen; fast durchweg zeigen die Chromatophoren Stärkeeinschlüsse, die am ungefärbten Präparat mit Jod als solche nachgewiesen wurden. Von Übergängen zwischen Plastiden und Chondriosomen ist nichts zu sehen.

Nach diesen Befunden muß es auch bei Impatiens als bewiesen gelten, daß die Plastiden eine eigene Individualität besitzen und in allen Zellen neben und unabhängig von den Chondriosomen vorkommen.

Schlußbetrachtung.

In den vorstehend beschriebenen Untersuchungen ist nachgewiesen worden, daß auch bei den Phanerogamen entgegen den Ansichten von Guilliermond, Lewitzky, Forenbacher

u. a., die Plastiden nicht durch Umbildung aus Chondriosomen entstehen, sondern als selbständige Zellorgane neben und unabhängig von den Chondriosomen aufzufassen sind, daß also die alte Schimpersche Lehre von der Individualität der Chromatophoren zu Recht besteht.

Dieses Resultat wurde erhalten durch vergleichende Untersuchung lebenden und auf verschiedene Weise fixierten Materials und unter Verwendung einer Reihe verschiedenartiger Reagenzien. Die Befunde am lebenden Material decken sich lückenlos mit den Feststellungen an fixierten und gefärbten Präparaten. Namentlich ergab sich für die Einwirkung gewisser Reagenzien, wie Essigsäure, Formalin und Kaliumbichromat, die während der Beobachtung auf die lebende Zelle zur Einwirkung gebracht wurden, und für die Veränderungen in der Zelle, welche dieselben Flüssigkeiten als Bestandteile von Fixierungsmitteln hervorrufen, volle Übereinstimmung. Mit Hilfe der Altmannschen Säurefuchsinfärbung nach vorausgegangener Beizung der Objekte mit Chrom, war es möglich, die Plastiden in ihrer Färbung vom umgebenden Plasma so scharf herauszudifferenzieren, daß sie auch in den äußersten Zellschichten des Vegetationspunktes mit größter Deutlichkeit zu erkennen sind.

Es zeigte sich, daß Plastiden und Chondriosomen auf die Einwirkung gewisser Chemikalien vollkommen verschieden reagieren und daß es möglich ist, durch geeignete Fixierung die ersteren zu erhalten, die letzteren hingegen bis zur Unkenntlichkeit zu zerstören. Auf diese Weise gelang es auch, den begreiflichen Irrtum, in den Lewitzky bei der Untersuchung junger Blätter von Elodea verfallen war, aufzuklären. Der Grund, warum es bisher nicht möglich war, die Chromatophoren im Vegetationspunkt der höheren Pflanzen einwandfrei nachzuweisen, liegt in ihrer geringen Affinität zu den gebräuchlichsten Farbstoffen, die die Plastiden in dem dichten Plasma des Vegetationspunktes nach Anwendung chondriosomenzerstörender Fixierungsmittel nicht genügend hervortreten ließen; waren jedoch die Chondriosomen erhalten, so verdeckten sie durch ihre große Zahl und ihre tiefe Färbung die Plastiden vollständig.

Unter dem Einfluß der Arbeiten von Sapehin und Scherrer über Kryptogamen, sowie Mottier und wohl auch verschiedener seiner eigenen Schüler, deren Publikationen mir nicht zugänglich waren, an Phanerogamen, hat Guilliermond seine Ansicht über das Verhältnis von Plastiden zu Chondriosomen wesentlich geändert. In einer kurzen Mitteilung (6) äußert er die Annahme, daß im Meristem von Pisumwurzeln nebeneinander und unabhängig voneinander zweierlei Arten von Chondriosomen vorkommen sollen, die beide eine eigene Individualität besitzen, sich durch Teilung vermehren können, äußerlich aber nicht voneinander zu unterscheiden sind. Die eine Art, »représentant les plastides«, hat die Fähigkeit, in den erwachsenen Zellen Volumvermehrung zu erfahren und Stärke zu bilden, die andere stellt typische Chondriosomen dar, die auch in den erwachsenen Zellen als feine Fäden oder Körner wiederzufinden sind. Sehr bald hinter dem Vegetationspunkt unterscheiden sich diese beiden Arten von Chondriosomen auch äußerlich; die einen, die prädestiniert sind, zu Plastiden zu werden, sind ziemlich dick-fadenförmig, die anderen, dünner, mehr stäbchen- und körnerförmig. Auch an anderen Wurzeln hat Guilliermond dieses Resultat erhalten. Seine Abbildungen gleichen sehr derjenigen von Mottier bei Pisum, nur daß letztere die dick-fadenförmigen Plastiden auch im Meristem von den Chondriosomen unterscheidet.

Hiermit scheint zunächst die ganze Frage auf einen Wortstreit herauszukommen, ob man die kleinen Chromatophoren im Meristem Chondriosomen nennen will oder nicht. Guilliermond gibt jedoch an, daß diese beiden Sorten von Chondriosomen sich auch in ihrem Verhalten gegenüber Reagenzien gleichen sollen, und das ist, wie ich zeigen konnte, sicher falsch. Plastiden und Chondriosomen sind morphologisch, chemisch und physiologisch scharf voneinander unterscheidbare Bestandteile der Zelle, von denen die ersteren selbständige Plasmaorgane mit eigener Individualität darstellen. Es ist daher nicht angängig, die genau definierten Plastiden im Meristem unter den Sammelnamen Chondriosomen einzubegreifen.

Auch die Auffassung Mottiers entspricht keineswegs der Wirklichkeit, wenn er annimmt, daß die Chromatophoren

im Vegetationspunkt in Form von »Primordia« vorhanden sind, mit anderen Worten, daß es sich hier um embryonale Gebilde handele, die mit den ausgewachsenen Plastiden noch nicht auf gleicher Stufe stehen, sondern erst im Laufe der Ausdifferenzierung der Zelle zu funktionstüchtigen Chloro- bzw. Leukoplasten heranwachsen müssen. Wir sahen, daß im Wurzelmeristem von Elodea die Plastiden genau das gleiche Verhalten gegenüber Reagenzien zeigen, wie in erwachsenen Zellen. Sie unterscheiden sich morphologisch und chemisch nicht voneinander, nur ihre Größe ist im Meristem bedeutend geringer. Was ihre Funktion anbetrifft, so sind die kleinen Chromatophoren im Vegetationspunkt der Elodeawurzel von vornherein grün gefärbt, wenn sie sich am Licht entwickeln, vermögen also zu assimilieren. In hell wie in dunkel kultivierten Wurzeln können die Plastiden bis in die äußersten Meristemzellen hinein Stärke bilden. Ebenso fanden wir, daß bei Pelargonium die Leukoplasten des Sproßscheitels fast stets kleine Stärkekörner enthalten und auch bei Impatiens war diese Tatsache des öfteren festzustellen. Es besteht somit kein Grund, die Plastiden im Vegetationspunkt als embryonal und funktionsuntüchtig anzusprechen, sie sind stofflich wie funktionell den Plastiden erwachsenen Zellen gleichwertig, nur ist ihre Größe im Meristem sehr viel geringer. Wenn sie auch häufig im Meristem noch nicht in Funktion treten, so besitzen sie doch, wie die angeführten Beispiele lehren, jederzeit die Fähigkeit, unter geeigneten Bedingungen ihre Tätigkeit aufzunehmen.

Tübingen, Mai 1920.

Verzeichnis der zitierten Literatur.

1. Forenbacher, Die Chondriosomen als Chromatophorenbildner. Ber. d. d. bot. Ges. 1911. **29.**
2. Guilliermond, Recherches sur le mode de formation de l'amidon et sur les plastes des végétaux (leuco-chloro- et chromoplates). Arch. d'Anat. Microsc. 1912.
3. —, Quelques remarques nouvelles sur la formation des pigments anthocyaniques au sein des mitochondries. C. R. des séances de la Soc. de Biol. 1913. **75.**
4. —, Bemerkungen über die Mitochondrien der vegetativen Zellen und ihre Verwandlung in Plastiden. Ber. d. d. bot. Ges. 1914. **32.**
5. —, Sur l'origine des vacuoles dans les cellules de quelques racines. Réunion Biologique de Lyon. 1920.

6. Guilliermond, Sur la coexistence dans la cellule végétale de deux variétés distinctes de mitochondries. Réunion Biologique de Lyon. 1920.
7. Lewitzky, Über die Chondriosomen in pflanzlichen Zellen. Ber. d. d. bot. Ges. 1910. **28.**
8. —, Die Chloroplastenanlagen in lebenden und fixierten Pflanzenzellen von Elodea canadensis. Ebenda. 1911. **29.**
9. Lundegårdh, Ein Beitrag zur Kritik zweier Vererbungshypothesen. Jahrb. f. wiss. Bot. 1910. **98.**
10. Maximow, Über Chondriosomen in lebenden Pflanzenzellen. Anat. Anz. 1913. **43.**
11. Meves, Historisch-kritische Untersuchungen über die Plastosomen der Pflanzenzellen. Arch. f. mikr. Anat. 1917. **89.**
12. Meyer, Arth., Das Chlorophyllkorn. Leipzig. 1883.
13. —, Die Allinante. Ber. d. d. bot. Ges. 1916. **34.**
14. —, Morphologische und physiologische Analyse der Zelle der Pflanzen und Tiere. Jena. 1920.
15. Mikosch, Über die Entstehung der Chlorophyllkörner. Sitzgsber. d. K. K. Akad. d. Wiss. Wien. 1885. **92.**
16. Mottier, Chondriosomes and the Primordia of chloroplasts and leucoplasts. Ann. of Bot. 1918. **32.**
17. Pensa, Alcune formazioni endocellulari dei vegetali. Anat. Anzg. 1910. **37.**
18. Rudolph, Chondriosomen und Chromatophoren. Ber. d. d. bot. Ges. 1912. **30.**
19. Sapehin, Untersuchungen über die Individualität der Plastide. Arch. f. Zellforschg. 1914. **13.**
20. Scherrer, Untersuchungen über Bau und Vermehrung der Chromatophoren und das Vorkommen von Chondriosomen bei Anthoceros. Flora. 1915. **107.**
21. Schimper, Über die Entwicklung der Chlorophyllkörner und Farbkörper. Bot. Zeitg. 1883. **41.**
22. —, Untersuchungen über die Chlorophyllkörper und die ihnen homologen Gebilde. Jahrb. f. wiss. Bot. 1885. **16.**

Figurenerklärung.

Tafel I und II.

Figg. 1—19. Elodea canadensis.

Fig. 1. Kalyptrazelle in vivo, 125 μ seitlich des Meristems. Vergr. 2000 : 1.

Fig. 2. Meristemzelle der Wurzel in vivo. Vergr. 2000 : 1.

Fig. 3. Periblemzelle der Wurzel, 3,5 mm von der Spitze, fix. Regaud. Vergr. 1000 : 1.

Fig. 4. Pleromzelle der Wurzel, 1 mm von der Spitze, fix. Regaud. Vergr. 2000 : 1.

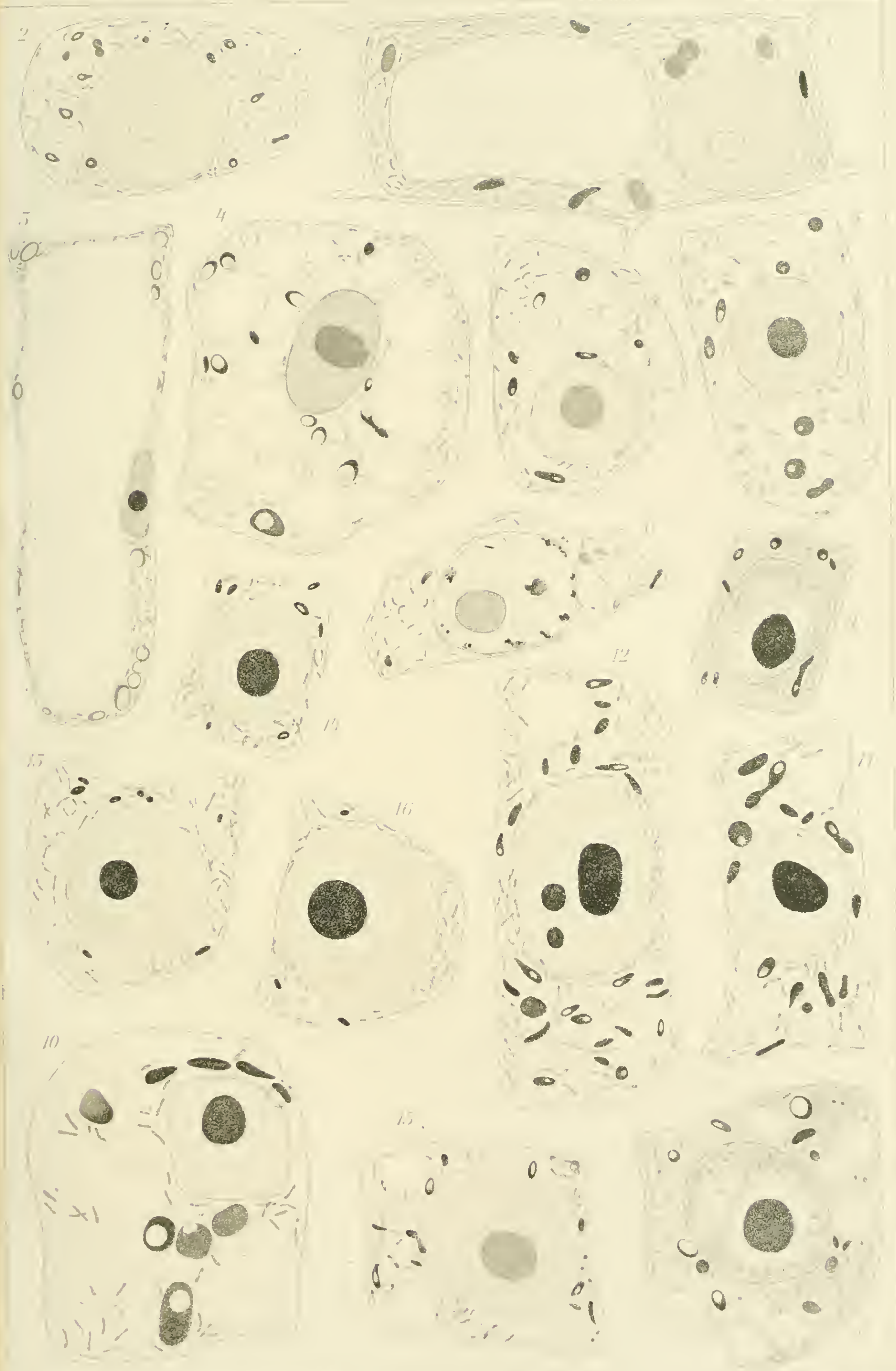
Fig. 5. Meristemzelle der Wurzel, fix. Regaud. Vergr. 2000 : 1.

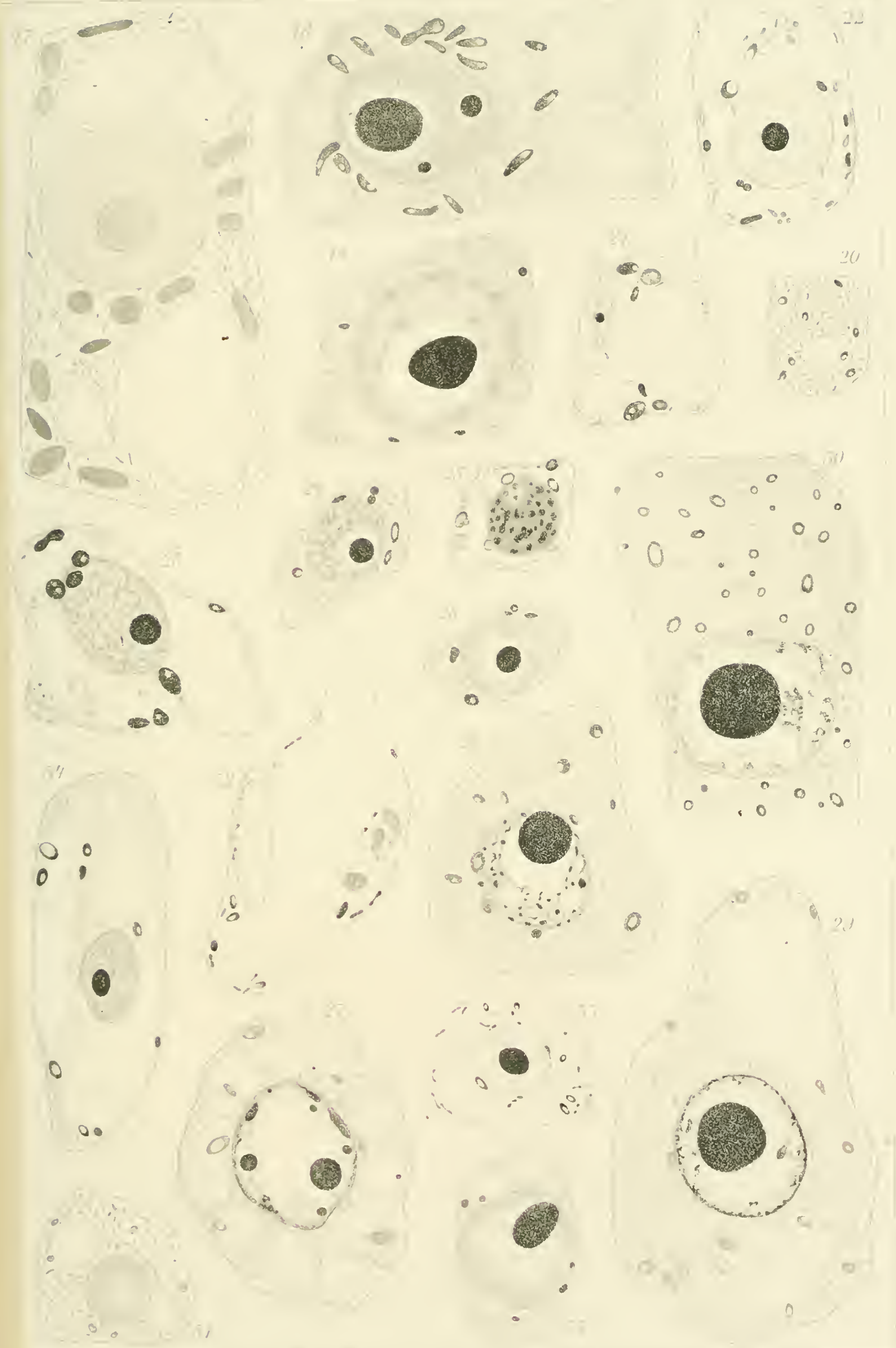
Fig. 6. Meristemzelle der Wurzel, fix. Regaud. Vergr. 2000 : 1.

Fig. 7. Kalyptrazelle seitlich des Meristems, fix. Regaud. Vergr. 2000 : 1.

Fig. 8. Periblemzelle der Wurzel, 600 μ von der Spitze, fix. Lenhossek. Vergr. 2000 : 1.

Fig. 9. Meristemselle der Wurzel, fix. Lenhossek. Vergr. 2000 : 1.
Fig. 10. Parenchymzelle aus einem 1200 μ langen Blatt, fix. Regaud. Vergr. 2500 : 1.
Fig. 11. Desgl. aus einem 800 μ langen Blatt, fix. Regaud. Vergr. 2500 : 1
Fig. 12. Desgl. aus einem 500 μ langen Blatt, fix. Regaud. Vergr. 2500 : 1.
Fig. 13. Desgl. aus einem 300 μ langen Blatt, fix. Regaud. Vergr. 2500 : 1.
Fig. 14. Desgl. aus einem 100 μ langen Blatt, fix. Regaud. Vergr. 2500 : 1.
Fig. 15. Zelle aus dem vierten Blatthöcker, 350 μ von der Spitze, fix. Regaud. Vergr. 2500 : 1.
Fig. 16. Dermatogenzelle der Sproßspitze, fix. Regaud. Vergr. 2500 : 1.
Fig. 17. Parenchymzelle aus einem 0,9 mm langen Blatt in vivo. Vergr. 2000 : 1.
Fig. 18. Parenchymzelle aus einem 700 μ langen Blatt, fix. Lenhossek. Vergr. 2500 : 1.
Fig. 19. Dermatogenzelle der Sproßspitze, fix. Lenhossek. Vergr. 2500 : 1.
Figg. 20—30. Pelargonium zonale.
Fig. 20. Dermatogenzelle der Sproßspitze in vivo. Vergr. 2000 : 1.
Fig. 21. Pleromzelle, 250 μ von der Spitze, fix. Regaud. Vergr. 1250 : 1
Fig. 22. Dermatogenzelle der Spitze, fix. Regaud. Vergr. 2500 : 1.
Fig. 23. Pleromzelle 80 μ von der Spitze, fix. Lenhossek. Vergr. 2500 : 1.
Fig. 24. Dermatogenzelle der Spitze, fix. Lenhossek. Vergr. 2500 : 1.
Fig. 25. Dermatogenzelle der Spitze, fix. Petrunkewitsch. Vergr. 2500 : 1.
Fig. 26. Pollenmutterzelle vor der Synapsis, fix. Lenhossek. Vergr. 2500 : 1.
Fig. 27. Junges Pollenkorn, fix. Lenhossek. Vergr. 2500 : 1.
Fig. 28. Zelle aus einer jungen Samenanlage, fix. Lenhossek. Vergr. 2500 : 1.
Fig. 29. Makrosporenmutterzelle vor der Synapsis, fix. Lenhossek. Vergr. 2500 : 1.
Fig. 30. Eizelle (schief getroffen), fix. Lenhossek. Vergr. 2500 : 1.
Figg. 31—35. Impatiens parviflora.
Fig. 31. Subepidermale Zelle der Spitze in vivo. Vergr. 2000 : 1.
Fig. 32. Pleromzelle 100 μ von der Spitze, fix. Regaud. Vergr. 2000 : 1.
Fig. 33. Zelle aus der dritten Lage des Vegetationspunktes, fix. Regaud. Vergr. 2000 : 1.
Fig. 34. Prokambiumzelle 300 μ von der Spitze, fix. Lenhossek. Vergr. 2500 : 1
Fig. 35. Dermatogenzelle des Vegetationspunktes, fix. Lenhossek. Vergr. 2500 : 1.


2
3
4
10
12
13
14
15
16
17



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Zeitschrift für Botanik

Jahr/Year: 1921

Band/Volume: 13

Autor(en)/Author(s): Noack Konrad

Artikel/Article: Untersuchungen über die Individualität der Plastiden bei Phanerogamen. 1-35