

Über Inhaltsverlagerungen in plasmolysierten Zellen.

Von Ernst Küster.

(Mit 10 Abbildungen im Text.)

Als Systrophe bezeichnet A. F. W. Schimper¹⁾ diejenigen Verlagerungen der Chromatophoren, bei welchen diese zu Klumpen sich vereinigen. Systrophe beobachtete Schimper an *Rhipidophora elongata* und *Striatella unipunctata* nach Erschütterung, nach Verdunkelung, nach intensiver Belichtung und anderen Veränderungen in den äußeren Bedingungen. Bei *Elodea* tritt nach Schimper Systrophe in den Blattzellen nach Verwundung der Blätter auf, sowie bei intensiver Belichtung der Pflanze: „die Chlorophyllkörner sammeln sich zu einem Klumpen, der häufig, aber nicht immer den Zellkern umgibt und entweder eine Seitenwand oder noch häufiger der Innenwand anliegt. Die Orientierung der Chlorophyllkörner in diesem Klumpen ist wechselnd, je nach der Stellung derselben; sie liegen nämlich zum größten Teil der Zellwand, welchem der Klumpen befestigt ist, parallel, also je nach dem einzelnen Fall, mit ihrer breiten oder schmalen Seite nach außen²⁾“. In den Blattzellen von *Krassulaceen* (*Sempervivum*, *Sedum*) sammeln sich unter dem Einfluß der direkten Sonnenstrahlen „die Chlorophyllkörner zu einem oder zwei stark vorspringenden Klumpen, die häufig den Zellkern einschließen. Die Stellung dieser Klumpen ist wechselnd, sie können an allen Wandteilen befestigt sein, aber stets derart, daß, wo zwei vorhanden sind, sie einander gegenüber liegen³⁾“.

Die von Schimper als Systrophe bezeichnete Ballungserscheinung ist auch von anderen Autoren vor und nach ihm wiederholt beobachtet und beschrieben worden⁴⁾; auf ihre Mitteilungen hier im einzelnen ein-

1) A. F. W. Schimper, Untersuchungen über die Chlorophyllkörner und die ihnen homologen Gebilde. (Jahrb. f. wiss. Bot. 1885, Bd. XVI, pag. 1, insbes. pag. 221.)

2) Schimper, a. a. O. pag. 226.

3) Schimper, a. a. O. pag. 230, 231.

4) J. Böhm, Beiträge zur näheren Kenntnis des Chlorophylls (Würzburger Akad. Wiss., Wien 1856); B. Frank, Über die Veränderung der Lage der Chlorophyllkörner und des Protoplasmas in den Zellen und deren innere und äußere Ursachen (Jahrb. f. wiss. Bot. 1872, Bd. VIII, pag. 216); E. Stahl, Über den Einfluß von Richtung und Stärke der Beleuchtung auf einige Bewegungserscheinungen im Pflanzenreiche (Botan. Zeitung 1880, Bd. XXXVIII, pag. 297). Weitere Literaturangaben bei Stahl, a. a. O., Schimper, a. a. O. und Senn (s. n.).

zugehen, liegt keine Veranlassung vor. Nur auf Senn's Untersuchungen¹⁾ mag schon hier hingewiesen sein. Senn gebraucht den Ausdruck „Systrophie“ in einem engeren Sinn als Schimper, nämlich nur für die Häufung der Chromatophoren um den Kern. Andere Ballungen der Chromatophoren, die keinerlei Beziehungen zum Zellkern erkennen lassen, läßt Senn ohne besonderen Namen²⁾. Die Systrophe (im engeren Sinn des Wortes) führt Senn auf die Produktion chemotaktisch wirkender Stoffe seitens des Zellkerns zurück, der durch sie die bewegungsfähigen Chlorophyllkörner anzulocken vermag. In einer vorläufigen Mitteilung habe ich vor einigen Jahren auf die systrophische Gruppierung der Chromatophoren um den Zellkern aufmerksam gemacht, die nach Behandlung der Zellen mit wasserentziehenden Mitteln erfolgt³⁾. Auch Senn hat analoge Beobachtungen gemacht und beschrieben⁴⁾. Die durch Behandlung mit plasmolysierenden Lösungen gewonnenen Ergebnisse decken sich mit den Beobachtungen Schimper's an Zellen, die durch Verdunstung einen Teil ihres Wassers eingebüßt hatten⁵⁾. Ich möchte mit den nachfolgenden Mitteilungen auf die Inhaltsverlagerungen in plasmolysierten Zellen nochmals zurückkommen und dabei prüfen, ob Senn mit Recht zwischen Systrophe s. str. und Chromatophorenballungen anderer Art unterscheidet, und ob seine Lehre von den chemotaktisch wirkenden Ausscheidungsstoffen des Zellkerns sich mit allen Beobachtungen zwanglos in Einklang bringen läßt.

1. Kontraktion des Körnerplasmas nach Plasmolyse.

Bei Behandlung mit wasserentziehenden Lösungen zieht sich — hinreichend kräftige Einwirkung vorausgesetzt — nicht nur der plasmatische Zellenleib als Ganzes zusammen, sondern es wird in vielen Fällen noch das Körnerplasma besonders affiziert und zu mehr oder minder deutlicher Kontraktion veranlaßt.

Bringt man losgelöste Blätter vom *Elodea densa* z. B. in $\frac{1}{2}$ Normal-Calciumnitratlösung, so erfolgt sehr bald Plasmolyse. Nachdem diese perfekt geworden, zieht sich in den folgenden 24 Stunden das Körnerplasma samt Zellkern und Chromatophoren zusammen, derart, daß es nicht allseits der Hautschicht als Belag von ungefähr gleichmäßiger

1) G. Senn, Die Gestalts- und Lageveränderungen der Pflanzenchromatophoren. Leipzig (W. Engelmann) 1908.

2) Senn, a. a. O. pag. 70.

3) E. Küster, Über den Einfluß wasserentziehender Lösungen auf die Lage der Chromatophoren (Ber. d. D. Bot. Ges. 1906, Bd. XXIV, pag. 255).

4) Senn, a. a. O. pag. 135 u. a.

5) Vgl. Schimper, a. a. O.

Dicke aufliegt, sondern an einer oder selten mehreren Stellen zu einem dicken Klumpen sich anhäuft, der Körnerplasma, Zellkern und Chromatophoren in sich vereinigt. In Zellen, deren Körnerplasma sich besonders stark kontrahiert hat, springt der von ihm gebildete Klumpen halbkugelförmig oder als flaches Kugelstück in den Zellsaftraum vor, wie auf mehreren der Abbildungen zu erkennen ist.

Die Vollständigkeit, mit der sich das Körnerplasma an einer Stelle sammelt, ist sehr verschieden. Zuweilen handelt es sich nur um eine ungleichmäßige Verteilung des Plasmas, derart, daß eine sehr dünne Schicht von Körnerplasma noch an allen Teilen der kontrahierten Zellenleiber erkennbar bleibt; in vielen anderen Fällen aber ist die Hohlkugel, welche die Körnerplasmaschicht bildet, zerrissen und die ganze Masse auf eine oder wenige eng umgrenzte Stellen zusammengezogen, so daß stellenweise eine Trennung des Körnerplasmas von der Hautschicht erfolgt ist, oder zum mindesten keine Schicht von ersterem auf der Hautschicht mehr erkennbar ist. In diesen Fällen sind auch die Chromatophoren nicht mehr gleichmäßig oder nahezu gleichmäßig in der ganzen Zelle oder wenigstens auf einigen Wänden der Zelle verteilt, sondern in den Plasmaklumpen eingeschlossen.

Zur Untersuchung der Körnerplasmaklumpen eignen sich besonders die großen Zellen der oberen Schicht des Elodeablattes. Die Lagerung des Klumpens in der Zelle läßt keine Gesetzmäßigkeit erkennen; bald liegt er an den Außenwänden, bald an den Innen- oder Seitenwänden; bald sieht man ihn bei Durchmusterung eines Blattes in Profil-, bald in Flächenansicht¹⁾.

1) Bei dieser Gelegenheit möchte ich darauf aufmerksam machen, daß die Chloroplasten von *Elodea densa* bei längerem Liegen der Blätter in schwach plasmolysierenden Lösungen (z. B. $\frac{n}{4}$ -Calciumnitrat, $\frac{n}{4}$ -Rohrzucker) sich nicht bloß erheblich vergrößern (0,027—0,036 mm Länge anstatt 0,009—0,012 mm), sondern auch in ihrer Mitte eine deutlich wahrnehmbare, farblose oder blasse Zone ausbilden, an der der Chloroplast mehr oder weniger eingeschnürt ist. Offenbar handelt es sich um Gebilde, deren Teilung nach vorausgegangenem Wachstum unvoll-



Abnormale Teilungen der Chloroplasten von *Elodea* bei Dunkelkultur in Knop'scher Lösung.

Dieselben Erscheinungen der Körnerplasmakontraktion, die ich für *Elodea* beschrieben habe, lassen sich auch an Zellen anderer Provenienz jederzeit leicht beobachten. Auf einige der zahlreichen Objekte, die ich untersuchte, will ich noch kurz hinweisen.

Vallisneria spiralis. — In den kleinen Zellen der Blattepidermis kommt es bei Behandlung mit $n/2$ -Calciumnitrat fast allenthalben zur Kontraktion. In den großen Zellen des Grundgewebes bleibt meist die gleichmäßige Körnerplasmaschicht erhalten, zuweilen aber erfolgt auch hier Kontraktion, so daß ein relativ sehr großer, schwarzgrüner Klumpen entsteht. In den kleinen Epidermiszellen konnte schon wegen des großen Plasmareichtums die Kontraktion nicht zu so auffallenden Formationen führen wie in den großvakuoligen *Elodea*zellen u. a.

Mesophyllzellen von *Tradescantia discolor*. — Auch hier bei Behandlung mit $n/2$ -Calciumnitrat kräftige Kontraktion des Körnerplasmas. Wie bei allen Erscheinungen, die auf den vorliegenden Seiten geschildert werden sollen, spielt auch bei der Kontraktion des Plasmas in den Zellen des genannten Objektes, der nicht näher analysierbare Zustand des vorliegenden Materials eine große Rolle: Präparate von manchen Blättern und Blattstellen zeigen in fast allen Zellen die Ballung des Körnerplasmas, während bei Untersuchung anderer Blätter und gleicher Behandlung die Kontraktion in allen Zellen ausbleiben kann.

Grundgewebszellen aus jungen Achsen von *Tradescantia virginica*. — Längsschnitte in $n/2$ -Calciumnitrat zeigen sehr deutlich Kontraktion des Körnerplasmas und Ballung der Chromatophoren. Wir kommen nachher noch auf dieses Objekt zurück.

kommen blieb. Sie gleichen im wesentlichen den von mir früher bei *Funaria hygrometrica* beobachteten Chlorophyllkörnern, die bei Dunkelkultur der Moospflänzchen in 0,5—1 %iger Knop'schen Lösung jene farblose Mittelzone noch viel kräftiger entwickelten und in den mannigfaltigsten Formen (vgl. die vorstehende Figur) zeigten (vgl. Küster, Beiträge zur Physiol. u. Pathol. der Pflanzenzellen I. Zeitschr. f. allgem. Physiol. 1904, Bd. IV, pag. 241; ferner V. Vouk, Laubfarbe und Chloroplastenbildung bei immergrünen Holzgewächsen. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien 1908, Bd. CXVII, Abt. I, pag. 1372). Die Tatsache, daß bei *Funaria* wie *Elodea* u. v. a. die farblose Zone der großen Chloroplasten immer in deren Mitte liegt, spricht dafür, daß bei dem der Teilung vorangehenden Wachstum der Chlorophyllkörner die neue Chloroplastensubstanz in der Mitte eingeschaltet wird (interkalares Wachstum); die Chloroplasten von *Spirogyra* wachsen nach Kolkwitz sowohl interkalar als auch an der Spitze (Die Wachstumsgeschichte der Chlorophyllbänder bei *Spirogyra*. Festschr. für Schwendener 1899, pag. 277). Ein Grund, diese von Mikosch zuerst studierte Teilung der Chlorophyllkörner als „indirekte“ zu bezeichnen, liegt meines Erachtens nicht vor.

Daucus carota. — Fig. 1 zeigt eine Zelle aus dem Querschnitt durch eine Mohrrübe: nach vierstündigem Aufenthalt in n-Rohrzucker hat sich das Körnerplasma samt den in ihm liegenden Karotinkristallen kontrahiert.

Primula sinensis. — Die zylindrischen Zellen der Drüsenhaare reagieren zwar sehr ungleich, zeigen aber sehr oft besonders deutlich die systrophische Gruppierung der hellgrünen Chromatophoren am Kern und die Ballung des Körnerplasmas. Auch von diesem Objekt soll später noch die Rede sein.

Allium cepa. — Ich untersuchte hauptsächlich Zwiebeln einer dunkelroten Varietät. Trägt man Epidermisfetzen von der morphologischen Unterseite der Zwiebelschuppen in $n/2$ -Calciumnitratlösung oder andere plasmolysierende Medien ein, so kontrahiert sich binnen 24 Stunden in vielen Zellen das Körnerplasma sehr stark (vgl. Fig. 2 a). Der Plasmaklumpen ist sehr kräftig gekörnt, setzt sich aber gegen den Zellsaftraum mit einer deutlichen Schicht Hyaloplasma ab. Der in

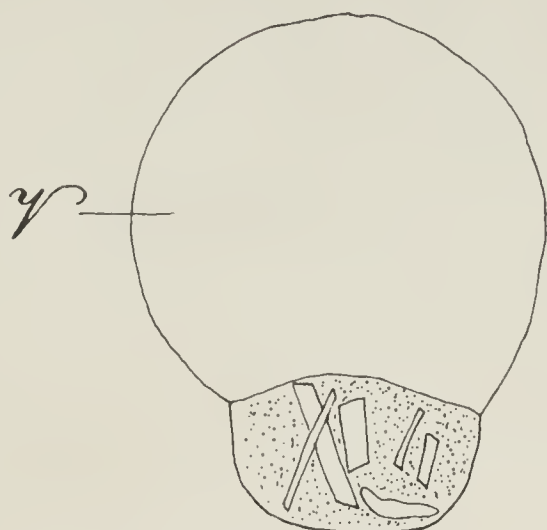


Fig. 1. Parenchymzellen aus der Wurzel von *Daucus carota*; nur das Plasma ist gezeichnet. Unten das Körnerplasma mit seinen Einschlüssen.

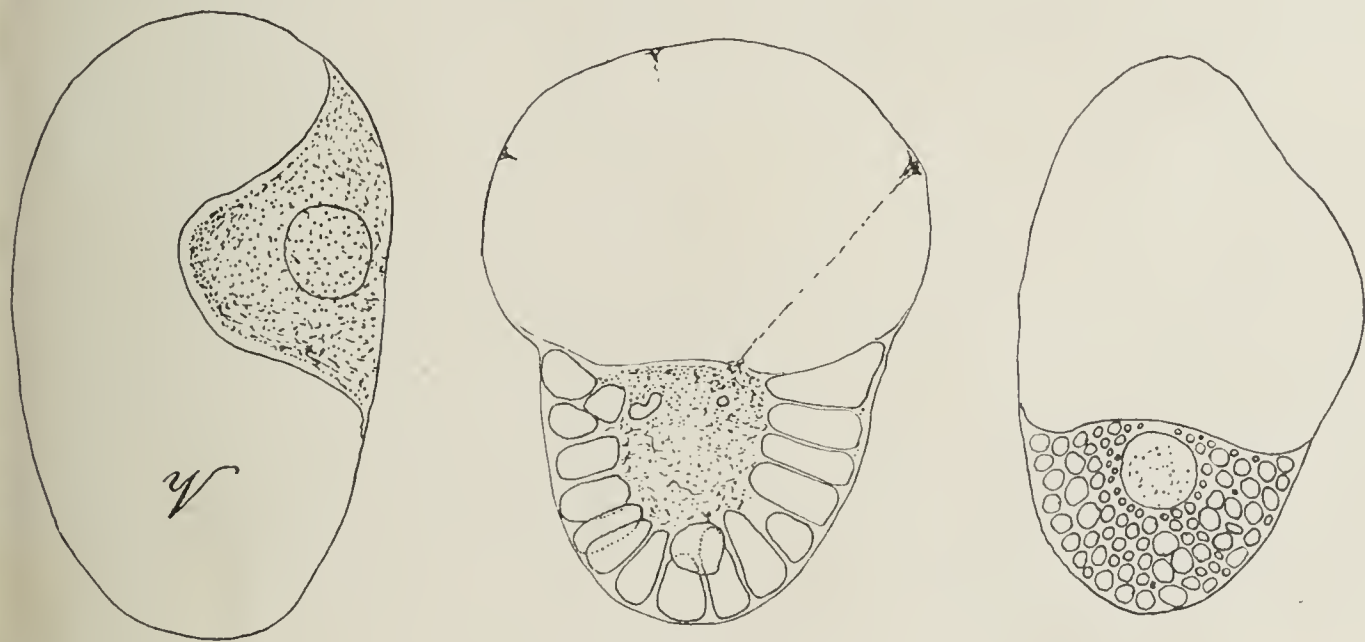


Fig. 2 a

b

c

Fig. 2. Zellen aus der Epidermis der Zwiebelschuppen von *Allium cepa*. Bei a starke Kontraktion des Körnerplasmas (V Vakuole) und deutliche Bildung einer inneren Hyaloplasmaschicht. Bei b ebenfalls Kontraktion des Körnerplasmas; dem Ballen liegen zahlreiche kleine und kleinste Vakuolen an. Bei c ist der Körnerplasmahaufen durchsetzt von zahlreichen kleinen Vakuolen. — Die Cellulosewand der plasmolysierten Zellen ist nicht gezeichnet.

Fig. 2 *a* dargestellte Fall ist ausnahmsweise einfach; in der Mehrzahl der Fälle verändert sich der Plasmaleib der Zwiebelzellen in plasmolysierenden Lösungen — besonders deutlich z. B. in Normalrohrzuckerlösungen — derart, daß der rote Zellsaftraum von zahlreichen Plasmalamellen septiert und dabei oft zu einer grobschaumigen, morulaähnlichen Masse wird. In diese große Masse von Vakuolen kommt nun bei der Kontraktion des Plasmas insofern „Ordnung,“ als sich die kleinen und kleinsten in der Nähe des Kerns finden, und die große (oder die großen) zur Seite gedrängt wird (vgl. Fig. 2 *b*). Eine ähnliche Anordnung zeigt Fig. 2 *c*: der den Kern umgebende Körnerplasmaballen ist von zahllosen kleinsten roten Vakuolen durchsetzt. — Ähnlich wie die Epidermiszellen der Zwiebelschuppen verhalten sich auch ihre Grundgewebszellen (Längsschnitte); auf Präparaten beider Art sieht man sehr oft nicht mehr als 5 oder 10% der Zellen in der geschilderten Weise sich verändern.

Die Anhäufung der Chloroplasten um den Zellkern ist ebenso wie die Kontraktion des Körnerplasmas ein reversibler Vorgang: läßt man Wasser zu den plasmolysierten Objekten fließen, so beginnt in vielen Zellen — bei *Elodea densa*, deren Blattzellen durch $n/2$ -Calciumnitrat plasmolysiert worden sind, oft schon nach 10 Minuten — eine Lockerung der Chlorophyllkörnerballung und eine Ausbreitung der Plasmaanhäufung. Die Zellen ein und desselben Präparates verhalten sich allerdings oft sehr ungleich: in manchen tritt die Lockerung der Chlorophyllkornmasse erst sehr viel später ein.

Läßt man die plasmolysierten Zellen, deren Körnerplasma sich kontrahiert hat, besonders lange in der plasmolysierenden Flüssigkeit liegen, so wird allmählich von dem der Kugelform zustrebenden Zellsafttropfen der rundliche Plasmotropfen samt Zellkern und Chromatophoren sanft vorgewölbt und schließlich wie eine halbkugelförmige Warze vorgestülpt (vgl. z. B. Fig. 1; Fig. 2 *b* zeigt die Plasmamasse samt den ihr anliegenden kleinen Vakuolen in der geschilderten Weise vorgestülpt); natürlich sind diese Formveränderungen erst dann möglich, wenn die Oberflächenspannungsverhältnisse der Hyaloplasmaschicht nicht mehr die ursprünglichen sind.

Die Art und Weise, wie der Zellkern von den sich systrophisch vereinigenden Chlorophyllkörnern umlagert und überlagert wird, läßt zwar mancherlei Unterschiede erkennen (vgl. Fig. 3); stets aber bestehen insofern Beziehungen zwischen Zellkern und Chromatophoren als jener niemals frei von diesen bleibt. Wir werden später noch eingehender davon berichten, daß bei der Kontraktion des Körnerplasmas

außer dem großen inhaltsreichen Klumpen, von dem schon die Rede war, noch kleinere Plasmaportionen sich kontrahieren und tropfenartig auf der Hyaloplasmaschicht stehen können; solche Plasmatropfen sind meist chlorophyllfrei. Niemals aber wurde der Fall beobachtet, daß der Zellkern in einem dieser chloroplastenfreien Plasmatropfen läge. Wohl aber ist der Fall gar nicht selten, daß außer dem großen Klumpen Chlorophyllkörner, der den Zellkern als Zentrum umgibt, noch ein zweiter, naturgemäß kernloser Chlorophyll- und Körnerplasmahaufen sich bildet. Bei *Elodea densa* (in $\frac{1}{2}$ Normalcalciumnitrat, noch besser



Fig. 3.

Fig. 3. Die Chlorophyllkörner beginnen in verschiedener Anordnung sich um den Zellkern zu lagern (*Elodea densa* in $\frac{n}{2}$ -Calciumnitrat).

Fig. 4. Randzellen eines Blattes von *Hydrilla verticillata*; 4 Stunden in $\frac{n}{2}$ -Calciumnitrat. Der Inhalt einer Zelle ist in drei Portionen zerfallen.



Fig. 4.

in n -Rohrzucker) ist die Bildung von zwei chlorophyllführenden Plasmaklumpen in einer Zelle sehr häufig. Vorgänge ähnlicher Art hat, wie wir oben in Erinnerung riefen, auch Schimper beobachtet, dessen Mitteilungen sich allerdings stets nur auf die Chromatophoren und nicht zugleich auf das Körnerplasma beziehen. Unterschiede irgendwelcher Art — etwa in der Anordnung ihrer Teile oder in ihren Lebensäußerungen (Bewegung usw.) — lassen sich zwischen den kernführenden und kernlosen Chlorophyll- und Plasmaballen nicht beobachten.

Besondere Aufmerksamkeit verdienen diejenigen Zellen, deren Protoplasma bei der Plasmolyse sich in zwei oder mehr Stücke zerlegt hat, deren jedes mehr oder minder reichlich mit Chlorophyllkörnern

ausgestattet ist. Bei den langen Randzellen und den am Mittelnerv liegenden Zellen der Blätter von *Elodea densa* oder *Hydrilla verticillata*, sowie bei den langen Grundgewebszellen aus der Achse von *Tradescantia virginica* und an vielen anderen Objekten kann man sich leicht davon überzeugen, daß die Bildung von Chlorophyllballungen nicht abhängig ist von der Gegenwart oder der Nähe eines Zellkerns; denn auch in den kernlosen Plasmaportionen, die sich bei der Plasmolyse isoliert haben, sind die Chlorophyllkörner imstande, sich zu einer dichtgedrängten Gruppe zu vereinigen, und auch die Kontraktionsfähigkeit des Körnerplasmas ist vom Zellkern unabhängig; bei *Hydrilla verticillata* zerfällt das Plasma der sehr langen schmalen Randzellen der Blätter sehr oft in drei und vier Portionen, die alle in gleicher Weise ihre Plasma- und Chlorophyllballen ausbilden (vergl. Fig. 4). Daß in sehr kleinen, nur aus Plasma bestehenden, zellsaftlosen Portionen keine Ballungen eintreten können, versteht sich von selbst.

Daß die Ballung der Chlorophyllkörner in den kernlosen Anteilen nicht in der Weise zustande kommt, daß etwa noch vor der Zerklüftung des Plasmaleibes ein einheitlicher systrophischer Haufen sich gebildet hat, der bei der fortschreitenden Plasmolyse dann zerteilt würde, derart, daß jede Plasmaportion einen Teil des Ballens bekäme, geht schon aus der Lage der Chlorophyll- und Körnerplasmaballen hervor, ferner aber auch daraus, daß bei *Elodea*, *Hydrilla* und anderen die Zerteilung des Plasmaleibes in mehrere Portionen längst perfekt geworden ist, bevor Plasmakontraktion und Ortswechsel der Chloroplasten eintritt. Bei *Primula sinensis* begegnen wir allerdings dem abweichenden Verhalten, daß in den zylindrischen Zellen der Drüsenhaare alle Chlorophyllkörner zu einer Gruppe sich zusammenschaaren können, noch bevor eine Zerteilung des Plasmaleibes erfolgt; tritt diese dann ein, so resultieren ein kernhaltiger, plasmareicher Anteil mit sämtlichen Chromatophoren und ein kernloser, plasmaarmer, völlig chlorophyllfreier Teil. Dieses Verfahren, chlorophyllfreie Zellen zu gewinnen¹⁾, habe ich bisher nur bei den Haarzellen von *Primula sinensis* anwendbar gefunden²⁾.

1) Eine andere Methode, chlorophyllfreie Zellen zu erhalten, hat kürzlich C. v. Wisselingh (Zur Physiologie der Spirogyrazellen. Beih. z. Botan. Zentralbl. 1908, Bd. XXIV, Abt. I, pag. 133) beschrieben.

2) Von allen Objekten, die ich nach den hier interessierenden Gesichtspunkten untersucht habe, sind die Drüsenhaare der *Primula sinensis* insofern am ungeeignetsten, als Zellen ein und derselben Art bei gleicher Behandlung außerordentlich verschieden hinsichtlich der Umlagerung ihres Plasmas und der Chromatophoren reagieren. Alle im Text erwähnten Beobachtungen sind im Botanischen Institut zu Halle gemacht worden; das Kieler Material gab keine Resultate, da das Plasma stets noch vor Beginn der Umlagerungen abstarb.

Mustert man eine große Anzahl von Zellen, deren Inhalt durch Plasmolyse in mehrere Portionen zerlegt worden ist, so stellt sich heraus, daß hier und da in kernlosen Anteilen die Ballung ausgeblieben ist (z. B. bei *Elodea*); sie bleibt zwar auch bei unzerteilten kernhaltigen Zellen aus nicht ersichtlichen Gründen zuweilen aus; immerhin muß bei manchen Objekten die Wiederkehr des in Fig. 5 dargestellten Bildes auffallen: im kernhaltigen Teil deutliche Kontraktion des Plasmas (und event. systrophische Ballung der Chromatophoren), im kernlosen Teil unveränderte Verteilung des Plasmas (und seiner Inhaltskörper). Wenn diesen Fällen außerordentlich zahlreiche andere gegenüberstehen, in welchen beide Plasmaanteile die gleichen Kontraktionserscheinungen zeigen, so werden wir die Folgerung ziehen dürfen, daß von dem Kerne eine „Anziehungswirkung“ ausgeht, welche das Körnerplasma und die in ihm liegenden Chromatophoren usw. um ihn sich sammeln lassen, daß aber auch andere Stellen der Zelle — unabhängig vom Zellkern — denselben Konflux veranlassen können. Zu dieser Vermutung führt uns auch die Betrachtung der unzerteilten Zellen, in welchen sich 2 Gruppen von Chlorophyllkörnern gehäuft haben.

Über die anziehende Wirkung des Zellkerns, welche die nukleopetale Wanderung der Chlorophyllkörner veranlaßt, hat sich Senn a. a. O. ausführlich geäußert. Wir werden in einem der nächsten Abschnitte auf seine Theorien näher einzugehen haben.

2. Plasmabewegungen in plasmolysierten Zellen.

Daß die tiefgreifenden Veränderungen in der Verteilung des Körnerplasmas in der Zelle nicht ohne Einfluß auf dessen Bewegung sein werden, läßt sich erwarten. Es wird zunächst zu schildern sein, in welcher Weise die Strömungserscheinungen modifiziert werden; außerdem werden die an plasmolysierten Zellen mit kontrahiertem Körnerplasma beobachteten amöboiden Plasmabewegungen zu behandeln sein.

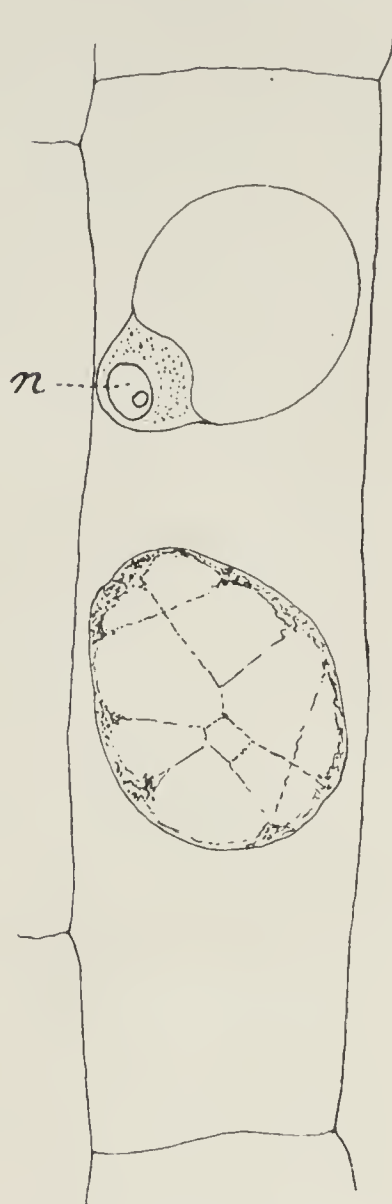


Fig. 5. Farblose Zelle aus dem Längsschnitt durch die Achse von *Tradescantia virginica*. 18 Stunden in $\frac{n}{2}$ -Calciumnitrat. Oben der kernhaltige (n), unten der kernlose Teil. In letzterem keine Plasmakontraktion.

a) Strömungsanomalien.

Plasmolyse schließt an sich Plasmabewegung nicht aus¹⁾; auch die Kontraktion des strömenden Körnerplasmas vermag seine Bewegung noch nicht lahmzulegen. Die Art der Bewegung in kontrahierten oder sich kontrahierenden Plasmamassen zeigt aber mancherlei Auffälliges.

Am deutlichsten werden die Veränderungen in den Blattzellen von *Elodea densa* — nur von diesen und ihrer Rotation soll im folgenden die Rede sein —, wenn das Körnerplasma und die ihm eingelagerten Chlorophyllkörner zu scharf umrissenen Klumpen sich vereinigt haben — zu einem oder zwei halbkugelförmigen Ballen oder zu einer dicken, annähernd in der Mitte der Zelle liegenden Plasmascheibe. Die Bewegung wird in diesen Klumpen fortgesetzt; in denjenigen Zellen, in welchen der Plasmaklumpen seine der Hautschicht anhaftende Sohle nach oben richtet, sieht man Plasma und Chlorophyllkörner rotieren wie auf einer um ihren Mittelpunkt gedrehten kreisrunden Scheibe. Ich beobachtete Fälle, in welchen eine Drehung der Plasmamasse um 360° ca. 25 Sekunden in Anspruch nahm. Auch wenn die Klumpen einer Seitenwand anliegen und bei Untersuchung eines Elodeablattes daher im Profil sichtbar sind, läßt sich die Drehung der Plasmamasse deutlich beobachten. Die Achse, um welche die Drehung erfolgt, liegt übrigens nicht fest, sondern verschiebt sich; der Umriß der der Hautschicht aufliegenden Körnerplasmasohle verändert sich während der Drehung fast in allen Fällen von Sekunde zu Sekunde mehr oder minder deutlich.

Hat sich das gesamte Körnerplasma oder sein größter Teil in der Mitte der langgestreckten Zelle zu einem dicken Scheibchen kontrahiert, so kann man naturgemäß nur an diesem Plasmaseptum Bewegungserscheinungen erwarten; dieses dreht sich mit derselben Geschwindigkeit wie die soeben besprochenen hemisphärischen Klumpen.

Am vorzüglichsten habe ich alle diese Bewegungserscheinungen an denjenigen Blättern beobachtet, welche 24 Stunden oder länger in $\frac{3}{4}$ n—n-Rohrzuckerlösungen gelegen hatten. Auch an Zellen der Blattbasis, die an Plasma arm und deren Chloroplasten oft stark degeneriert sind, treten die geschilderten Rotationen auf. Allzulange kann man sie unter dem Mikroskop nicht verfolgen, da sie nach 10 bis 20 Minuten langsamer werden und schließlich ganz sistiert werden. Vielleicht ist die geringe Sauerstoffzufuhr, die durch das Deckglas bedingt wird, hierfür verantwortlich zu machen.

Noch zahlreiche weitere Mannigfaltigkeiten lassen sich an der Plasmabewegung plasmolysierter Zellen beobachten. Zumal in Rohr-

1) Vgl. Hofmeister, Die Lehre von der Pflanzenzelle 1867, pag. 53.

zuckerlösungen entstehen sehr häufig nicht ein, sondern mehrere Plasmaballen der gewöhnlichen Form: dann können wir beide unabhängig voneinander ihre Drehungen ausführen sehen. Weiterhin ist der Fall sehr häufig, daß die Kontraktion des Körnerplasmas unvollkommen bleibt. Sehr oft bleibt z. B. neben einem (oder neben zwei) Plasmaklumpen noch eine sehr dünne gürtelförmige Zone von Körnerplasma mit Chromatophoren in der Mitte der Zelle bestehen, die — senkrecht zur

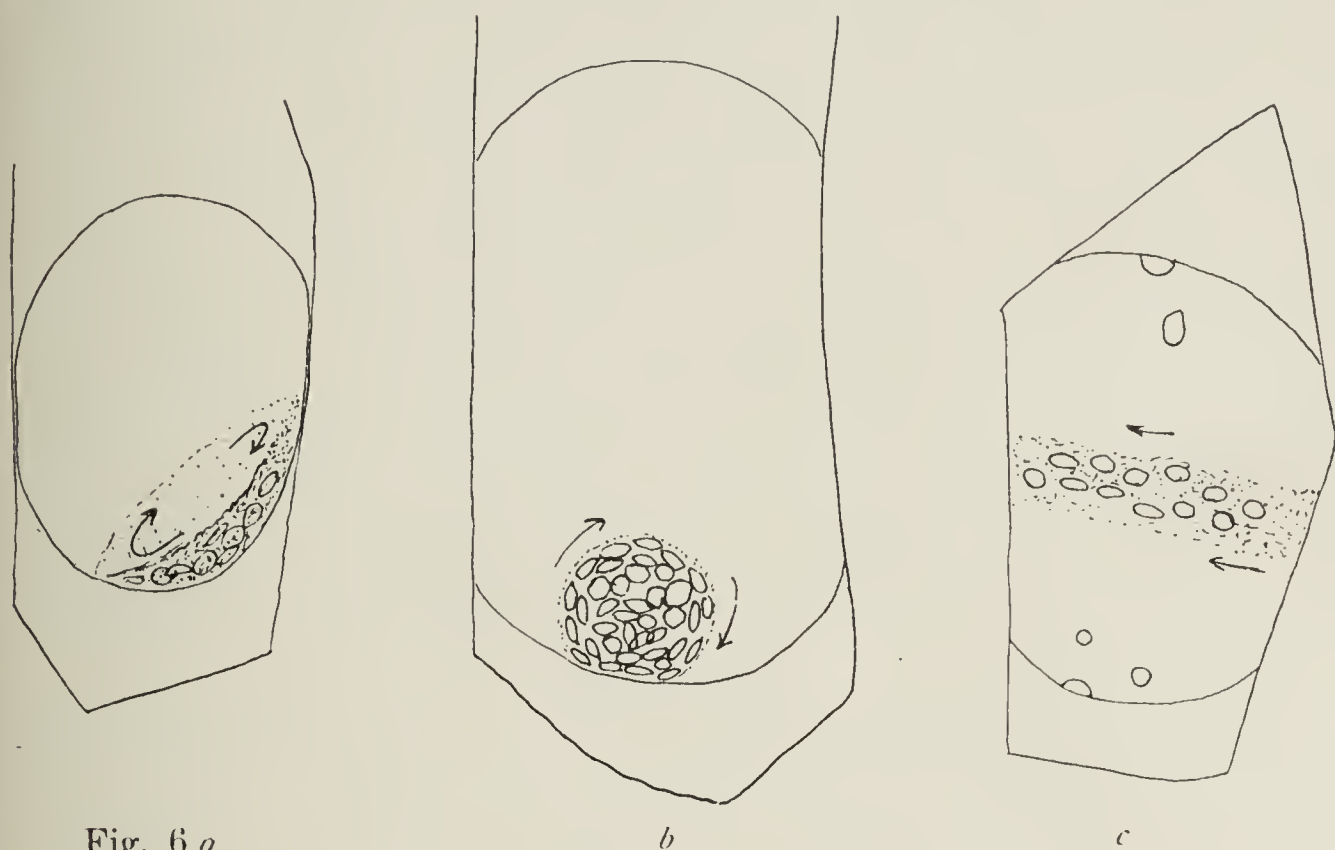


Fig. 6. Halbschematische Darstellung der in den Blattzellen von *Elodea densa* häufigsten Strömungsanomalien. *a* u. *b*: das strömende Körnerplasma zu einem Haufen zusammengeballt und in der Richtung der Pfeile rotierend (*a* Profil-, *b* Flächenansicht); *c* eine dicke gürtelförmige Zone des Körnerplasmas strömt (senkrecht zur Längsachse der Zelle) in der Richtung der Pfeile (es ist die Oberseite der Zelle gezeichnet); oben und unten dünne ruhende Körnerplasmaschichten mit einigen Chlorophyllkörnern; *d* Zellen mit zwei rotierenden Plasmaklumpen (oben und unten, einer in Profil-, der andere in Flächenansicht), in der Mitte eine gürtelförmige Strömungszone, links noch ein nahezu in Ruhe verharrender Plasmotropfen.

Längsachse der Zelle — ihre Strömung fortsetzt; oder es bleiben hie und da in der Zelle unregelmäßig umgrenzte Partien oder solche, deren Umrisse sich überhaupt nicht mit Sicherheit erkennen lassen, an der Hautschicht haften und verharren in völliger Ruhe soweit aus den ihnen hie und da eingelagerten Chloroplasten sich erschließen läßt. — Fig. 6 veranschaulicht einige der häufigsten Strömungsanomalien.

Die Plasmaklumpen, die mit einem feinen Plasmafädchen noch mit der gegenüberliegenden Seite des Zellenleibes in Verbindung stehen,

rotieren in derselben Weise wie diejenigen, von welchen keinerlei Plasmafäden ausgehen; die Rotationsachse geht stets durch den Punkt, an welchem das Plasmafädchen einmündet. Diese Plasmaklumpen zeigen während der Rotation von einer zur anderen die seltsamsten Formveränderungen und vermitteln für unsere Beschreibung den Übergang zu den im nächsten Abschnitt geschilderten Vorgängen.

b) Amöboide Formveränderungen.

Alle lebendigen Anteile der Pflanzenzelle — Cytoplasma, Zellkern, Chromatophoren — zeigen sich unter bestimmten Bedingungen zu amöboider Formveränderung befähigt. Was insbesondere das Cytoplasma umhäteter Zellen betrifft, so läßt sich seine Befähigung hierzu naturgemäß nur an der Grenzfläche von Cytoplasma und Vakuolenflüssigkeit beobachten: sowohl der wandständige Plasmabelag als auch die den Zellsaftraum durchsetzenden Plasmafäden zeigen unter besonderen Umständen hie und da zuckende oder züngelnde Bewegungen, die als amöboide zu bezeichnen sind, — nach Pfeffer z. B. dann, wenn sich in dem Plasma irgendwo eine lokale Stauung bildet und die strömende Masse diese Insel eine Zeitlang umfließt, bis das Hindernis mitgerissen wird¹⁾.

Bequeme Gelegenheit zur dauernden Beobachtung amöboider Bewegungserscheinungen von Cytoplasma umhäteter Metaphytenzellen



Fig. 7. Grundgewebszellen aus der Achse von *Tradescantia virginica* (Längsschnitt 20 Stunden in $n/2$ -Calciumnitrat).

bieten die nach Plasmolyse kontrahierten Körnerplasmamassen, von welchen oben die Rede war, z. B. die in den Zellen von *Elodea densa*.

Fast alle durch Kontraktion der Körnerplasmaschicht entstandenen Plasmaklumpen zeigen — wenigstens die ersten 24–48 Stunden nach ihrer Entstehung — mehr oder minder lebhaft amöboide Formveränderungen. Die großen mit Chlorophyllkörnern reichlich ausgestatteten

Plasmaklumpen, welche einzeln oder zu zwei in den Elodeazellen sich bilden, zeigen allerdings meist nur bescheidene amöboide Formveränderungen, die oft erst bei aufmerksamer und geduldiger Beobachtung der Gebilde bemerkbar werden. Außerordentlich lebhaft sind aber die Formveränderungen bei den kleinen Körnerplasmotropfen, die hier und da auf der Hautschicht der plasmolysierten Zellen aufsitzen (vgl. Fig. 7).

1) Vgl. Pfeffer, Pflanzenphysiologie, 2. Aufl., Bd. II, pag. 727.

In den Zellen von *Elodea* bilden sich fast immer bei Behandlung mit $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ oder mit Rohrzucker außer dem großen chlorophyllführenden Plasmaballen kleinere Körnerplasmaansammlungen — in jeder Zelle meist eine, selten zwei, die wie Tropfen auf der Hautschicht aufsitzen. Die kleinen sind stets chlorophyllfrei — der Durchmesser ihrer der Hautschicht aufsitzenen Sohle ist ungefähr so groß wie ein Chlorophyllkorn, bis doppelt so groß; die größeren sind gelegentlich mit einem oder wenigen Chlorophyllscheibchen ausgestattet. Diese der Hautschicht ansitzenden „Plasmaamöben“ zeigen eine erstaunliche Agilität, die hinter der Beweglichkeit schnell kriechender tierischer Amöben nicht zurückbleibt. Sie wölben sich, spitzen sich zu, züngeln und wogen, buchten sich sattelförmig ein, teilen sich vorübergehend mehr oder minder unvollkommen, runden sich wieder ab und rücken auf ihrem Substrat bald hierhin, bald dorthin. Ungeachtet aller Agilität kommen sie meist doch nicht recht von der Stelle; was sie an ihren Platz fesselt, ist nicht zu ersehen, — vermutlich dasselbe Hemmnis, das sie als besonderen Plasmatropfen an ihre Hautschicht des Cytoplasmas zurückhielt, die Vereinigung ihrer Substanz mit der Hauptmasse des sich kontrahierenden Körnerplasmas verhinderte und dadurch ihre Entstehung als selbstständige Plasmaamöben erst herbeiführte. Oft sind Plasmafäden erkennbar, welche von ihnen zum gegenüberliegenden Teil des Plasmaballens führen; an diesen Faden züngelt die Masse der Plasmaamöben oft weit hervor. In anderen Fällen beobachtete ich amöboide Plasmatropfen, von welchen keine Plasmafäden ausgingen.

Es ist zwar anzunehmen, daß die Plasmaamöben gegen den Zellsaftraum durch eine dünne Lage von Hyaloplasma oder eine andersgeartete Hautschicht abgesetzt sind: doch habe ich von einer solchen nichts wahrnehmen können.

Die unvollkommene Kontraktion des Körnerplasmas, welche, wie wir bereits sahen, zu den mannigfaltigsten Arten der Plasmaverteilung führen kann, bedingt auch sehr mannigfaltige Verschiedenheiten in den amöboiden Bewegungserscheinungen. Namentlich in Zellen, deren chlorophyllführender, sich kontrahierender Plasmaballen seine Masse noch nicht in einem fest umgrenzten, abgerundeten Gebilde gesammelt hat, lassen sich allerhand Variationen erkennen: das Körnerplasma des Ballens spült von Zeit zu Zeit wie mit lobosen Pseudopodien über die Hautschicht vor, oder streckt solche von sich und zieht sie wieder ein, zuweilen sind mehrere sich kontrahierende Plasmaballen miteinander durch feine, fadenartige Plasmabrücken — die aber nicht durch den Zellsaftraum gespannt sind, sondern der Hautschicht aufliegen — ver-

bunden; ich beobachtete Zellen, in welchen diese Plasmafäden im Augenblick zu breiten Plasmapbändern sich verwandelten und das Zusammenfließen der beiden Plasmamassen herbeiführten. Häufig sind die sich kontrahierenden Plasmamassen auf allen Seiten von einem Netzwerk feiner Plasmafäden umgeben, in dem fortwährend ähnliche Veränderungen sich abspielen.

An den großen chlorophyllführenden Plasmaklumpen kann sich die vorhin beschriebene Rotation mit amöboiden Formveränderungen kombinieren, und auch bei den kleinen Plasmaamöben, die unablässig ihre Form wechseln, legen die in ihnen enthaltenen Plasmakörnchen oft deutliche Rotationsbahnen zurück. Überhaupt ist die geschilderte amöboide Bewegung der Plasmotropfen unzweifelhaft ein Ausdruck derselben bewegenden Kräfte, welche im unzerrissenen, zusammenhängenden Körnerplasmaschlauch die typischen Erscheinungen der Rotation hervorrufen.

Plasmaamöben von größerer oder geringerer Agilität bilden sich unter denselben Umständen wie in den Zellen von *Elodea densa* häufig und leicht in den Zellen der Drüsenhaare von *Primula sinensis*, in den Grundgewebszellen von *Tradescantia virginica* und sehr vielen anderen.

3. Senn's Lehre vom Peristromium.

Nach der Schilderung, welche Senn in seinem bereits zitierten Werk von der Bewegung und den Bewegungsorganen der Chlorophyllkörner gibt, werden diese zu aktiver Bewegung durch das sie umgebende Peristromium befähigt, eine farblose Plasmahülle, welche fadenförmige Pseudopodien auszusenden vermag und den Ortswechsel der Chlorophyllkörner bewirkt. Ein solches Peristromium, das besonders deutlich in den Blattzellen von *Funaria hygrometrica* wahrnehmbar sein soll, nimmt Senn für die beweglichen Chlorophyllkörner aller Pflanzen in Anspruch.

Was insbesondere die Wanderung der Chlorophyllkörner zum Zellkern hin betrifft, so nimmt Senn, wie schon oben erwähnt, für die von ihm als Systrophe bezeichneten Fälle an, daß die durch die Pseudopodien ihrer Peristromien bewegten Chlorophyllkörner von chemotaktisch wirkenden Ausscheidungsstoffen des Nucleus zu diesem hingelockt würden.

Ich kann mich der Senn'schen Lehre aus verschiedenen Gründen nicht anschließen. So wahrscheinlich es auch ist, daß der Zellkern durch ausgeschiedene Stoffe mannigfaltiger Art auf seine lebendige Umgebung wirkt, sind doch insbesondere die Chemotaktica, welche Senn voraussetzt, nach meiner Ansicht schon deswegen nur wenig glaubhaft

von dem genannten Forscher erschlossen, weil die aktive Bewegungsfähigkeit der Chlorophyllkörner bzw. ihrer Peristromien noch keineswegs erwiesen zu sein scheint. Die Zweifel, welche Senn's Peristromialpseudopodien gegenüber berechtigt sind, hat Knoll¹⁾ bereits zum Ausdruck gebracht; auf seine Abhandlung möchte ich hier verweisen. Solange also nicht die aktive Bewegung der Chlorophyllkörner über allen Zweifel erhaben ist, dürfte es verfrüht sein, hypothetische Chemotaktica zur Erklärung der Chlorophylltranslokationen anzunehmen und ihre Wirkungsweisen zu diskutieren.

Ich bestreite durchaus nicht, daß an Chromatophoren verschiedener Art Pseudopodien sichtbar werden können. Bei vielen Algen — vgl. Senn a. a. O. pag. 298 ff. — lassen sich amöboide Formveränderungen, die ich an Diatomeen, Phäophyceen und Rhodophyceen wiederholt studiert habe, bei geduldiger Beobachtung leicht feststellen. Ich möchte bei dieser Gelegenheit darauf aufmerksam machen, daß auch die Chlorophyllkörner höherer Pflanzen wenigstens unter bestimmten Umständen zur Bildung von Pseudopodien befähigt zu sein scheinen. Meine Beobachtungen beschränken sich auf die blaßgrünen Chloroplasten der unterseitigen Epidermis von *Listera ovata*. Obwohl ich in vier Frühjahren mich sehr bemüht habe, die in Rede stehende Erscheinung näher zu studieren, ist es mir doch nur zwei- oder dreimal gelungen, amöboide Formveränderungen an den Listerachloroplasten wahrzunehmen, und stets nur dann, wenn die Laubblätter der *Listera* oder Stücke von ihnen vor der Untersuchung mehrere Stunden in Wasser gelegen hatten. An einer vorher nicht gekennzeichneten Stelle des Chlorophyllscheibchens bildet sich ein schmales Pseudopodium, das sich schnell vorstreckt, verlängert, auch an der Spitze sich gabeln und unter sehr lebhaften Formveränderungen wieder eingezogen werden kann (vgl. Fig. 8). Davon, daß das Chlorophyllkorn dabei von der Stelle rückte, habe ich nichts wahrgenommen. Von den Senn'schen Peristromialpseudopodien unterscheiden sich die von mir leider so selten beobachteten Gebilde vor allem auch dadurch, daß sie nicht Plasmafäden darstellen, sondern offenbar zum Stroma des Chromatophoren selbst gehören. Hierin gleichen sie vielleicht auch den von Noll (vgl. Senn, a. a. O., pag. 298) beobachteten Pseudopodien der Chloroplasten von *Bryopsis*. Die von mir beobachteten Listerachloro-

1) Fr. Knoll, Über netzartige Protoplasmadifferenzierungen und Chloroplastenbewegung (Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien; Mathem.-naturwissensch. Kl. 1908, Bd. CXVII, Abt. I, pag. 1227).

plasten bildeten so überaus dünne Pseudopodien, daß diese völlig farblos erschienen.

Die bei *Listera* gelegentlich beobachteten Chloroplastenpseudopodien sind offenbar nicht imstande, das Problem der Orientierungsbewegungen, die von den Chlorophyllkörnern her bekannt sind, nach irgendeiner Richtung zu klären. An den leichtbeweglichen Chlorophyllscheibchen von *Funaria* usw. habe ich ebensowenig wie andere Untersucher jemals Effigurationen gesehen, die mit den von *Listera* hätten verglichen werden können. Die Umstände, unter welchen ich sie bei dieser beobachtete, machen es überdies fraglich, ob diese Art der Pseudopodienbildung zum normalen Leben der Chromatophoren höherer Pflanzen gehören mag.



Fig. 8.

Fig. 8. Pseudopodienbildende Chromatophoren aus der unterseitigen Epidermis von *Listera*blättern. — Die Chromatophoren veränderten, während sie beobachtet und gezeichnet wurden, unausgesetzt ihre Form, so daß es dahingestellt bleiben muß, ob in den Figuren die Proportionen überall mit hinreichender Genauigkeit wiedergegeben worden sind.

Der von Senn insbesondere für die systrophische nukleopetale Wanderung der Chlorophyllkörner gegebenen Deutung kann ich mich ferner schon deswegen nicht anschließen, weil mir kein Grund vorzuliegen scheint, zwischen den Gruppen der Chloroplasten, welche den Kern umhüllen, und den Chloroplastenballen, welche an beliebigen anderen Plätzen der Zelle sich häufen, prinzipiell zu scheiden, und weil bei den an beliebiger Stelle sich ansammelnden Massen eine Wirkung der Kerne ausgeschlossen ist.

Schließlich spricht gegen Senn's Deutung auch die Tatsache, daß auch andere Inhaltskörper des Plasmas als Chromatophoren sich in derselben Weise um den Zellkern scharen oder an der nukleopetalen Gruppierung teilnehmen, z. B. Eiweißkristalle. Wenn unzweifelhaft tote Gebilde ebenso am Kern Platz nehmen, wie wir es bei der Systrophe der Chromatophoren sehen, wird die Folgerung nicht abzuweisen sein, daß die zum Zellkern hin gerichtete Bewegung der Plasmaeinschlüsse passiv ist und der von Frank aufgestellte Satz: „Das Protoplasma ist das Bewegende“ noch zu Recht besteht. Macht man durch junge Kartoffelknollen dünne Schnitte unmittelbar unter ihrer Korkhaut, so sieht man in den stärkearmen, aber sehr eiweißreichen

Zellen den Zellkern sehr oft nicht nur von den Chromatophoren umlagert, sondern findet in derselben Lage wie diese auch einen, zwei, drei oder noch mehr Eiweißkristalle wechselnder Größe an ihm liegen (vergl. Fig. 9). Die Leukoplasten verhalten sich nicht anders als in schwach ergrüntem Knollen die blassen Chlorophyllträger, die stärke-losen Chromatophoren nicht anders als diejenigen, die bereits ein kleines Stärkekorn bergen. Nach meiner Ansicht wird sich die Annahme nicht umgehen lassen, daß alle Einschlüsse des Plasmas, welche am Kern liegen, durch die gleichen Kräfte unbefördert worden sind,

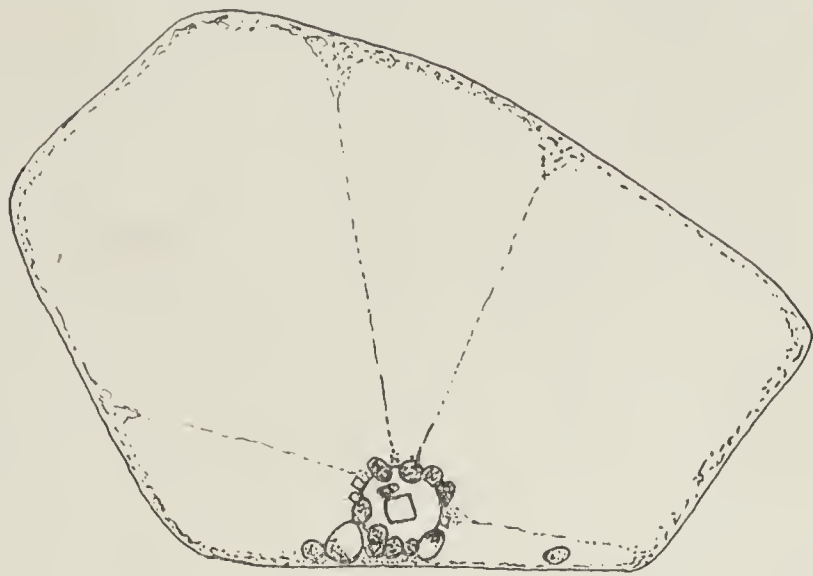


Fig. 9. Zelle aus dem Grundgewebe einer Kartoffelknolle. An dem Kern liegen zahlreiche Chloroplasten (mit und ohne Stärkeeinschlüsse), ein größeres und mehrere kleinere Eiweißhexaëder.

und ich kann mich daher nicht zu der Auffassung bekennen, daß die Chloroplasten durch aktive Lebensfähigkeit zum Zellkern wanderten.

Um ähnliche Transportbewegungen, die das Protoplasma ausführt, handelt es sich vermutlich auch bei der Erscheinung, daß die Stärkekörner mancher Florideen sich um den Zellkern lagern¹⁾.

4. Rhumblers Erklärungsversuch.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß in den hier behandelten Fällen die Chlorophyllkörner zum Kern hingebracht werden. Welche Kräfte können wir für diese Bewegungserscheinungen verantwortlich machen? Es liegt am nächsten, an Oberflächenspannungserscheinungen zu denken. Ich will versuchen, mit den folgenden Zeilen diejenigen Äußerungen der Kapillarspannungen zu erläutern, die für die Klärung der Fragen nach dem Mechanismus der Chlorophyllkornbewegungen etwas beizutragen versprechen.

a) Wenn Körper beliebiger Art auf einer Flüssigkeit schwimmen — z. B. Holz- oder Korkstückchen auf einer Wasseroberfläche — so

1) Vgl. Fr. Schmitz, Die Chromatophoren der Algen (Verhandl. Naturw. Ver. Rheinlands 1882, Bd. XL). — Auch die von Vouk (a. a. O.) beobachteten Vereinigungen von Chlorophyllkörnern und Granulis in den Zellen von *Sequoia sempervirens* möchte ich lieber als rein physikalisch bedingt (wohl durch Kapillarspannung) erklären, als auf ontogenetische Beziehungen zwischen den Organen beider Art zurückführen.

werden sich die einzelnen Körper, falls sie nicht zu weit voneinander entfernt sind, einander nähern und zu einer schwimmenden Gruppe vereinigen oder, falls sie dem Rand des Gefäßes nicht zu fern sind, diesem zustreben und an ihm in eine Ruhestellung kommen. Es ist die Spannung der Wasseroberfläche zwischen den einzelnen schwimmenden Gegenständen oder zwischen diesen und dem Gefäßrand, welche die besagten Bewegungen veranlaßt.

Es scheint mir keineswegs ausgeschlossen, daß Bewegungserscheinungen dieser Art und analoge Wirkungen der Oberflächenspannungen auch an Bestandteilen lebender Zellen — auch an den Chromatophoren — zustande kommen können; denn es kommen, wie scheint, Fälle vor, in welchen Zellenorgane — Chromatophoren — auf der Plasmaoberfläche schwimmen; man kann es sogar unter dem Mikroskop unmittelbar beobachten, daß Chloroplasten, die sich zunächst im Inneren des Plasmabelags befanden, also allseitig von Plasma umgeben waren an die Oberfläche des letzteren rücken und auf ihr schwimmen¹⁾; bei den Chloroplasten, welche an feinen Plasmafäden liegen, dürfte es sich vielleicht oft genug um Gebilde handeln, die dem Plasma nur aufliegen und nicht allseitig von ihm umhüllt sind.

1) Vgl. z. B. Noll, Beobachtungen und Betrachtungen über embryonal Substanz (Biolog. Zentralbl. 1903, Bd. XXIII, pag. 334): „Mit dem Eintritt in die Spitze verändert sich das Aussehen des somatischen Plasmas, indem es in gleichem Maße dichter (stärker lichtbrechend) und körniger wird; in gleicher Weise scheinen die Kerne wasserärmer und stärker lichtbrechend zu werden, während die Chloroplasten nicht in gleicher Weise beeinflußt werden, sondern unverändert ihre Dichte beibehalten und deshalb aus der dichteren Masse (wie Holzstücke aus dem Wasser) ausgestoßen werden. Sie bleiben an der freien Oberfläche der embryonalen Masse „schwimmend“ zurück, während die Kerne mit in dieselbe hineingenommen werden. Die embryonale Kappe ist daher kernhaltig, aber chlorophyllfrei.“ Der Wechsel in der Dichtigkeit genügt nach meiner Ansicht nicht, um das von Noll geschilderte Austreten der Chlorophyllkörner an die Oberfläche zu erklären und der Vergleich mit dem Auftrieb der im Wasser liegenden Holzstücke trifft, wie mir scheint, die Sache nicht, weil bei letzteren die Schwerkraft die Bewegungsrichtung des der Flüssigkeitsoberfläche zustrebenden Materials bestimmt; davon kann aber bei den Verlagerungen der Chloroplasten keine Rede sein. Ich vermute, daß bei den von Noll und Berthold (zitiert bei Noll) beschriebenen Erscheinungen Änderungen in der Benetzbarkeit der Chloroplasten durch das Cytoplasma eine Hauptrolle spielen, die ihrerseits auf chemisch-physikalische Änderungen in den Chloroplasten oder in dem sie umgebenden Cytoplasma zurückzuführen sind. In diesem Falle wäre das Austreten der Chlorophyllkörner physikalisch mit der Defäkation der Amöben gleichzustellen und ebenso zu erklären wie diese (vgl. L. Rhumler, Physikalische Analyse von Lebenserscheinungen der Zelle I. Arch. für Entwicklungsmechanik 1898, No. 7, p. 258).

b) Zweitens haben wir uns zu vergegenwärtigen, daß auch Gebilde, welche allseitig von einem flüssigen Medium umgeben sind, durch Oberflächenspannungsverhältnisse in ihrer Anordnung beeinflußt werden können. Körperchen, welche in einer Flüssigkeit suspendiert sind, grenzen bei isolierter Lage mit größerer Oberfläche an das sie umgebende Medium als wenn sie sich berühren, zu einem Klumpen vereinigen oder sonstwie zusammentreten. Die Oberflächenspannung des umgebenden Mediums, — etwa des Wassers, des Cytoplasmas usf. — wird suspendierte Körperchen, die durch irgendwelche Umstände bis zur gegenseitigen Berührung sich einander genähert haben, in dieser Lage festhalten; ein besonders stabiles Gleichgewicht wird erreicht sein, wenn alle suspendierten Körperchen sich zu einem Klumpen vereinigt haben und die Grenzfläche des umgebenden flüssigen Mediums auf ein Minimum gesunken ist. Daß Ballungen, welche in der geschilderten Art auf Oberflächenspannungen zurückzuführen sind, in Zellen vielfach vorkommen, ist mir nicht zweifelhaft. Die Ballungen, zu welchen Öl- und Fetttropfen und ähnliches sich in Pflanzenzellen verschiedener Art (z. B. bei *Dictyota*) vereinigt finden, lassen sich offenbar auf Oberflächenspannungen zurückführen. Auch bei dichten Ballungen von Chlorophyllkörnern werden dieselben Oberflächenspannungen die Stabilität der Gruppe festigen können.

Nur beiläufig möchte ich an die Bewegungserscheinungen erinnern, welche Roux an „kopulierenden“ Chloroformtropfen beobachtet hat. Ich glaube freilich, daß jene Phänomene die uns interessierenden Erscheinungen nicht erklären helfen können¹⁾.

c) Um so ausführlicher möchte ich auf die Erklärung eingehen, welche Rhumbler für gewisse von Fischel beobachtete Körnchenbewegungen in Echinodermeneiern gibt²⁾.

Fischel zeigte, daß nach Behandlung mit Neutralrot in den sich furchenden Echinodermeneiern sich kleine, im Protoplasma liegende Körnchen färben, die zunächst überall in der Zelle gleichmäßig verteilt sind, bei Beginn der Kernteilung aber zum Kern hinwandern, sich in seiner Nähe anhäufen und erst später, wenn auf die Kern- und Zell-

1) W. Roux, Eine Methode der Selbstkoagulation von Tropfen (Zeitschr. f. biolog. Technik und Methodik 1908, Bd. I, pag. 16; vgl. auch Roux, Gesammelte Abhandl. 1895, Bd. II, p. 34).

2) A. Fischel, Über vitale Färbung von Echinodermeneiern während ihrer Entwicklung (Anatom. Hefte 1899, 1. Abt., Bd. XI, pag. 463—505); L. Rhumbler, Physikalische Analyse von Lebenserscheinungen der Zelle II (Archiv für Entwicklungsmechanik 1900, Bd. IX, pag. 32).

teilung das Ruhestadium folgt, sich in den Zellen wieder regelmäßig verteilen.

Rhumbler nimmt an, daß der Kern bei der Teilung wasserentziehend und somit verdichtend auf das umgebende Cytoplasma wirkt und gibt folgenden Erklärungsversuch für das Fischel'sche Phänomen:

„Wenn in einem wabig gebauten Flüssigkeitsgemisch, im Protoplasma oder in irgendeinem emulsionsartigen Gemenge aus irgendwelchem Grunde eine lokale Verdichtung der Wabenwandsubstanz eintritt, so entsteht in dem Wabenwandwerk ein Druckgefälle, welches von dem Verdichtungszentrum aus nach allen Seiten hin abfällt. Dieses Druckgefälle wird dadurch veranlaßt, daß bei der Verdichtung die Kohäsion der Wandsubstanz gesteigert wird, die Wandteilchen hängen an der Verdichtungsstelle unter einander fester zusammen und werden deshalb auf zwischen sie eingedrückte Substanzen einen größeren Druck ausüben als da, wo eine geringere oder gar keine Verdichtung der Wandsubstanz eingetreten ist. Die zwischen den Wabenwänden eingelagerten flüssigen Wabeninhaltsmassen, die Enchylematröpfchen des Protoplasmas oder die Emulsionströpfchen einer Emulsion müssen daher von dem Verdichtungszentrum der Wabenwandsubstanz, vom Druckgefälle fortgetrieben, abwandern; denn jedes einzelne dieser Flüssigkeitströpfchen ist an dem der Verdichtung zugekehrten Pole einem durch die Verdichtung verursachten höheren Kohäsionsdruck der Wandsubstanz ausgesetzt, als an seinem der Verdichtung abgekehrten Pole und diese Druckdifferenzen müssen sich innerhalb der flüssigen Einlagerungen in der Weise auszugleichen suchen, daß die Einlagerung von dem stärker gedrückten nach dem weniger stark gedrückten Pole einfließt. Jede lokale Verdichtung (Kohäsionssteigerung) innerhalb der Wandsubstanz muß daher (unter Abstoßung der flüssigen Einlagerungen) gleichzeitig eine lokale Zusammenhäufung der Wandsubstanz im Verdichtungszentrum und andererseits eine Rarifizierung der Wandsubstanz in den von dem Verdichtungszentrum abgelegenen Zellen der Emulsion zur Folge haben, denn in diesen abgelegenen Teilen müssen sich selbstredend die von der Verdichtung zurückgestoßenen Flüssigkeitströpfchen ansammeln“¹⁾. Die Fischel'schen Körnchen haben offenbar zu dem Plasma, in dem sie liegen, eine hinreichend starke Adhäsion, und wenn dieses sich an Sphären und Zellkern verdichtet, häufen sich an denselben Stellen auch die roten Körnchen besonders dicht an.

1) Rhumbler a. a. O., pag. 56, 57.

Dieselbe Erklärung gibt Rhumbler auch bei Behandlung der Pigmentanhäufungen in den Embryonalzellen der Amphibieneier¹⁾; während der Teilung, wenn der Kern verdichtend auf das umliegende Plasma wirkt, häuft sich das Pigment, für welches Rhumbler wiederum eine Adhäsion an das Hyaloplasma annimmt, in seiner Nähe an, später an der Ebene der Zellscheidewand, „die ja natürlich auch nur unter Protoplasmaverdichtung hervorgebildet werden kann.“

Die von Fischel beobachteten und von Rhumbler erklärten Erscheinungen der Körnchenbewegungen sind den uns interessierenden Chloroplastenballungen so ähnlich, daß auch für sie Rhumbler's Erklärung zutreffend sein kann. In unseren Fällen wird das von Rhumbler angenommene Druckgefälle meist vom Zellkern ausgehen, aber auch von anderen Stellen des Zelleibes, an welchen durch irgendwelche Umstände eine besonders energische Verdichtung zustande kommt. Es kann sich vorläufig nur darum handeln, Rhumbler's Erklärung und ihre Anwendung auf die uns interessierenden Phänomene in Pflanzenzellen zur Diskussion zu stellen. Ein Beweis dafür, daß mit ihr das richtige getroffen ist, wird sich erst erbringen lassen, wenn es im Experiment gelingt, an willkürlich gewählten Stellen des Zelleibes die geschilderten systrophischen Ballungen hervorzurufen.

1) L. Rhumbler, Physikalische Analyse von Lebenserscheinungen der Zelle III (Arch. f. Entwicklungsmechanik 1900, Bd. IX, pag. 63).

Kiel, Botanisches Institut der Universität,
August 1909.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung](#)

Jahr/Year: 1910

Band/Volume: [100](#)

Autor(en)/Author(s): Küster Ernst

Artikel/Article: [Über Inhaltsverlagerungen in plasmolysierten Zellen. 267-287](#)