

ZOFJA BECKEROWA

Institut für allg. Botanik der Univ. Warschau.

### ZYTOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN AN DEN TRICHOCYSTEN VON *STRATIOTES ALOIDES* L.

#### Einleitung.

Mit den Trichocystenzellen von *Stratiotes aloides* wurde ich im 1928 J. aus Anlass meiner Untersuchungen über die Anatomie der Wasserpflanzen bekannt. Als erster wurde Kny (1878) auf diese Trichocystenzellen aufmerksam, ging jedoch mangels entsprechender Mittel in eine nähere Analyse derselben nicht ein. Immerhin fielen ihm die genannten Zellen gleich auf und zwar infolge ihrer beträchtlichen Ausmasse sowie ihres reichen Plasmahaltigen und insbesondere infolge des Auftretens von korallenartig verzweigten, ungleichmässig dicken Ausstülpungen an der Basalwand der Zellen, die ähnliche Farbstoffreaktionen wie die Zellwände aufwiesen. Den feineren Bau dieser Gebilde konnte Kny nicht feststellen. Bei den verwandten Wasserpflanzen, wie *Hydrocharis morsus ranae* oder *Hydromystria stolonifera*, wurden ähnliche Ausstülpungen nicht gefunden. Eine Beschreibung der Trichocystenzellen von *Stratiotes* fand ich ausserdem — inwieweit mir die betreffende Literatur zugänglich war — in den Arbeiten von Kroemer (1903, S. 22, Abb. 19, Tafel I), Arber (1925, S. 13 und 15—16), und Némec (1930, S. 38).

Kroemers Aufmerksamkeit erregten vor allem die von Kny dargestellten korallenartigen Wandverdickungen;

Kroemer fügt hinzu, dass ähnliche Gebilde auch in den Trichocystenzellen der *Elodea*-Wurzeln auftreten. Die Arbeit von Arber enthält eine schematische Zeichnung der erwähnten Zellen nebst einer allgemeinen Beschreibung<sup>1)</sup>. Mehr Einzelheiten enthält das Schema von Némec.

Auf meinen eigenen Präparaten von der Wurzelspitze und der Wurzelhaargegend konnte ich mich von den ansehnlichen Ausmassen der Trichocystenzellen überzeugen; daneben aber erregten meine Aufmerksamkeit noch die Grösse des Kernes, gewisse besondere Zytoplasmastrukturen, sowie die von den früher erwähnten Autoren bereits beschriebenen Ausstülpungen an den Zellwänden. Ich stellte mir daher die Untersuchung der hier auftretenden protoplasmatischen Strukturen, und zwar nicht nur auf fixiertem Material, sondern vor allem mittels vitaler Beobachtungen, zur Aufgabe, umsomehr, als das genannte Objekt in Anbetracht der Grösse seiner Zellen sowie ihres spezifischen Charakters<sup>2)</sup> viel Wesentliches zur Frage des Verhaltens und der Rolle gewisser Protoplasmateile, während der verschiedenen Lebensprozesse der Zelle, beizutragen versprach.

Die folgenden Beobachtungen, ausschliesslich auf lebendem Material ausgeführt, enthalten eine Darstellung der morphologischen Verhältnisse in den Trichocystenzellen von *Stratiotes*. Sie bilden nur einen Teil einer geplanten grösseren biozytologischen Arbeit über die erwähnten Elemente.

### Methodisches.

Für meine Untersuchungen bediente ich mich frischer, aus natürlichen Standorten bzw. aus den Bassains des Warschauer Botanischen Gartens stammender Wurzeln von *Strati-*

1) „The piliferous layer is at a rudimentary stage for it is still covered by the root cap..., but the cells which are destined to form root-hairs... are already distinguishable by their large nuclei and rich contents. Their later development offers one or two curious features. Before they protrude at all to the exterior, they enlarge so much that they displace the surrounding layers, and finally, by the divisions of adjacent cells, the base of the root hair comes to be enclosed in a cup-like jacket of small cells. Another peculiarity shown in these drawings is the presence of delicate, simple or branched rods of a highly refractive substance, which arise from the basal wall of the hair-cell and project slightly into its interior” (Arber, 1925 S. 15—17).

2) „Absorptionszellen” nach Haberlandt, 1918, S. 206.

*tiodes aloides*. Überdies habe ich, um stets Material zur Hand zu haben, einige Exemplare mitsamt den Wurzeln in Wassergläsern und Kristallschalen im Laboratorium gezüchtet. Für die unmittelbaren Vitalbeobachtungen über den Bau von Zytoplasma und Kern bediente ich mich am liebsten frischer am selben Tage abgeschnittener Wurzeln aus einem natürlichen Standorte. Die mit der Hand bereiteten Längs- bzw. Querschnitte legte ich unmittelbar darauf auf Objektträger in einen Tropfen Leitungswasser bzw. in einen Tropfen Wasser aus dem natürlichen Standort. Im Bedarfsfalle wurde das Wasser durch Lösungen ersetzt, deren Wirkung ausprobiert werden sollte. Die Schnitte wurden entsprechend dick gemacht, um die Wurzelhaarzellen nicht zu beschädigen. Mit Querschnitten habe ich nicht besonders vorteilhafte Erfahrungen gemacht, da die Zellen auf denselben sehr rasch zugrunde gehen; nur in einigen Fällen konnte ich auf Querschnitten die Wurzelhaarzellen durch eine längere Zeit verfolgen. Tangentialschnitte bieten dagegen keine Schwierigkeiten; auf diesen erhalten sich die Zellen 24 Stunden lang und länger beim Leben.

Da die Schnitte verhältnissmässig dick sein mussten und die Ausmasse der Zellen ziemlich beträchtlich sind, konnte ich die Zellen nicht in ihrer vollen Tiefe untersuchen, ohne sie der Gefahr der Zerdrückung durch die Immersionsobjektive auszusetzen. Eine derartige Untersuchung ist jedoch infolge der deutlichen Polarität der Zelle unbedingt notwendig, da gewisse Zellelemente, wie der Kern und die Wandausstülpungen, stets in dem tieferliegenden basalen Teil der Zelle liegen. Ich war daher genötigt, das Präparat auf dem Objektträger umzudrehen; auf diese Weise konnte ich den Schnitt sowohl von oben (d. h. von der Epidermisseite) wie aus der Schnittseite beobachten und den Bau der Haarzelle in den verschiedensten Ebenen ihres optischen Schnittes verfolgen, ohne sie der Gefahr des Zerdrückens auszusetzen. Als Beweis für die Vitalität der Zellen dienten mir die Bewegungserscheinungen des Zytoplasmas sowie das Aussehen der einzelnen Zellstrukturen, z. B. des Kernes und des Nucleolus. Nichtdestoweniger traten auf dem untersuchten Material, mit der Zeit, gewisse pathologische Veränderungen auf; sie konnten jedoch immer auf Grund der Beobachtungen bzw. der Veränderungen in der analysierten Zelle festgestellt wer-

den. In den Abschnitten über die einzelnen Zellstrukturen werde ich auf die mit den Bedingungen der Beobachtung im Zusammenhang auftretenden pathologischen Veränderungen näher eingehen.

Da ich die Zellstrukturen sowie das Verhältniss der Haarzelle zu den übrigen Wurzelzellen eingehender zu untersuchen beabsichtigte, habe ich die Zellen mit sauren oder basischen Farbstoffen vitalgefärbt. Die Vitalfärbungsmethode erlaubt uns bekanntlich — dank ihrer Elektivität — gewisse Schlüsse über den physiologischen Charakter verschiedener Elemente des tierischen bzw. pflanzlichen Organismus zu ziehen (Gicklhorn, 1931; Koehring, 1930; Pekarek, 1929 a, b; Weber, 1929). Die an der Basis abgeschnittenen Wurzeln legte ich in die in Schalen vorbereiteten entsprechenden Farbstofflösungen. Nach mehreren Vorproben wählte ich die Konzentration 1:5000; die günstigste Dauer der Färbung habe ich auf 4 Stunden bestimmt. Nachher wurden die Wurzeln in reines Wasser übertragen, worauf ich gleich die Schnitte für die Untersuchung vorbereitete. Ich habe — wie daraus zu ersehen — nicht die ganze Pflanze, sondern nur die Wurzeln vitalgefärbt, da ich mich durch entsprechende Proben überzeugen konnte, dass Präparate aus abgeschnittenen Wurzeln ganz dieselben Resultate ergaben wie Präparate, die aus nicht abgeschnittenen Wurzeln hergestellt wurden. Oft habe ich auch nur einzelne Schnitte vitalgefärbt und zwar insbesondere dann, wenn es sich um Färbung des Vacuoms handelte.

Von den übrigen vitalen Untersuchungsmethoden benützte ich die umkehrbare Koagulation von Belář (1930) mittels verdünnter Essigsäure bzw. die umkehrbare Strukturveränderung mittels verdünntem Ammoniak.

Die hier veröffentlichten Beobachtungen stammen vom Frühling und Sommer 1932 und 1933. Zu meiner Arbeit benutzte ich das Immersionsobjektiv 1/18 von Reichert, und die Leitzschen periplanatischen Okulare 5, 8, 12. Die Mikrophotographien wurden mit der Aufsatzkammer „Makam“ von Leitz hergestellt.

Meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Zygmunt Wóycicki bin ich für die Anregung zu dieser Arbeit und dauernde Führung zu grossem Danke verpflichtet.

## Eigene Untersuchungen.

### A. ALLGEMEINE CHARAKTERISTIK DER WURZELHAARZELLE.

Die Breite der Wurzelhaarzellen schwankt ziemlich stark und ist von dem Alter der Zelle, d. h. von ihrer Lage abhängig. In der Embryonalzone, näher der Wurzelspitze, beträgt sie 20—30  $\mu$  in der Wurzelhaarzone 48—80  $\mu$ .

Zu den vitalen Beobachtungen wählte ich Zellen aus verschiedenen Zonen, abgesehen von denjenigen Zellen jedoch, die bereits in lange Wurzelhaare ausgewachsen sind, da sie bei der Herstellung des Präparates meistens beschädigt wurden, was natürlich sofort in dem Zustand des Zellprotoplasten sich auswirkte. Am besten eignen sich zur Untersuchung diejenigen Zellen, welche über die Epidermisoberfläche hinauszuwachsen beginnen. Diese Zellen erinnern in ihrer Form an einen Kegel der mit der breiteren Basis gegen die Achse der Wurzel gerichtet ist. Schon bei einer oberflächlichen Betrachtung fallen an der unteren basalen Zellwand die verzweigten Ausstülpungen auf. Auf diesen Aus-

TABELLE I.

	Wurzelhaarzelle		Durchmesser in $\mu$	
	Tiefe in $\mu$	Breite in $\mu$	Kern	Nucleolus
	64	36	32	13
	56	36	34	16
	45	24	18	8
	64	40	28	12
	68	40	36	16
	64	40	38	14
	68	48	40	18
	65	48	40	16
	64	24	20	12
	48	40	32	12
	66	52	40	16
	65	48	40	16
	73	40	36	19
	50	60	54	22
Mittelwerte	61,4	41,5	34,8	15

wüchsen liegt der grosse Kern mit dem grossen amöbenartigen Nucleolus. Die obige Tabelle illustriert das Verhältniss zwischen den Ausmassen der Zellen und dem Durchmesser der Kerne und Kernkörperchen.

Zwischen den Auswüchsen, um den Kern herum, und neben der Zellhaut liegen mehr oder weniger dicke Zytoplasmastreifen, die miteinander durch ein Netz winziger Brücken und Fäden verbunden sind; in denselben finden intensive Zirkulationsbewegungen statt. In den Zellen aus der Embryonalzone nimmt das Plasma mehr Raum ein; den Rest des Raumes nehmen die Vacuolen ein. Neben der oberen Zellwand tritt oft ein sphärischer, aus einer glashellen, lichtbrechenden Substanz zusammengesetzter Körper auf.

## B. SPEZIELLER TEIL.

### 1. Das Zytoplasma.

In Anbetracht aller gleich sich einstellenden Vorbehalte in Bezug auf die vitale Struktur des Zytoplasmas, bemühte ich mich alle während der Beobachtungen nacheinander auftretenden Veränderungen in dem Zustande des Zytoplasmas festzuhalten und erst auf Grund dessen über den wirklichen Zustand des Zytoplasmas ein Urteil zu fassen. Vor allem fällt deutlich der Unterschied zwischen dem Verhalten des in dem Basalteile der Zelle liegenden und des an der nachher in das Wurzelhaar hineinwachsenden Zytoplasmas auf. In dem basalen, breiteren Teil der Zelle tritt das Zytoplasma in Form dicker, hyaliner Streifen auf, die miteinander durch kleine Brücken verbunden sind, in denen eine rege Zirkulation der Körnchen stattfindet. Ähnliche Plasmabewegungen treten auch in der Nähe des Kernes und zwischen den Wandauswüchsen auf. Nur wenige Plasmastreifen, und zwar die in der Verlängerung der Wandausstülpungen liegenden, tragen einen mehr festen Charakter und Mikrosomenbewegungen finden in denselben nur selten statt. In diesem Zustande bleibt das Zytoplasma in dem Basalteile der Zelle lange Zeit unverändert. Manchmal konnte ich sogar nach 8-stündiger Beobachtung keine deutliche Veränderung dieses Zustandes wahrnehmen. Ganz anders verhält sich das Zytoplasma in dem apikalen Teil der Wurzelhaarzelle. Hier dege-

neriert das Zytoplasma aüssert leicht. Nach der Schnittführung lassen sich im ersten Momente auch hier Zytoplasma-bewegungen feststellen, sie hören aber bald auf, das wandständige Zytoplasma unterliegt völlig der Vacuolisation, die Augen des Netzes erstarren und wir haben vor uns ein typisches Bild einer „vacuoligen oder schaumigen Degeneration“ Küster's (1929, S. 143) (Abb. 87). Diesen Unterschied in



Abb. 87.

„Schaumige Degeneration“ des Zytoplasmas in dem Apikalteil der Trichocyste  
Vergr.  $\pm 1000 \times$ .

dem Verhalten des Zytoplasmas an beiden Polen der Zelle durch den direkten einseitigen Druck des Präparates zu erklären, wäre ganz falsch, da das Zytoplasma sich ganz ebenso verhält unabhängig davon, ob wir den Längsschnitt mit der Zellbasis nach oben oder nach unten legen. Ja, ebenso verhält sich das Zytoplasma auch dann, wenn die Trichocysten-zellen über die Linie der Epidermis noch gar nicht hinauswachsen. Dieser Unterschied erklärt sich nur durch den verschiedenen Zustand des Zytoplasmas der seinerseits der

Ausdruck der morphologischen, vor allem aber der physiologischen Polarität der Wurzelhaarzelle ist. Infolge der oben erwähnten Schwierigkeiten vermochte ich an guten und lebenskräftigen Wurzelquerschnitten nie ganz sicher feststellen, wie der Übergang von einer Zytoplasmaart in die andere verläuft. Immerhin konstatierte ich, dass in dem die Zelle auskleidenden Plasma keine irgendwie geartete Schichtung deutlich sichtbar ist. Im Gegensatz zu dem letztens von Pekarek (1932) untersuchten Objekt (Rhizoiden von *Chara*) tritt somit bei den Wurzelhaarzellen von *Stratiotes aloides* eine morphologische Differenzierung des Zytoplasmas nur an den beiden gegenüberliegenden Polen der Zelle deutlich auf.

Der Kern liegt tiefer in dem weniger empfindlichen Zytoplasma; auch hier treten Wandausstülpungen auf. Von zytoplasmatischen Inklusionen kommen hier winzige Mikrosomen und eine gewisse Anzahl von Fettkügelchen vor, die mit Sudan leicht feststellbar sind. Sie können eine ziemlich beträchtliche Grösse erreichen. In dem am oberen Pol liegenden Zytoplasma treten die Fettkügelchen reichlicher auf. Sie bilden Konglomerate (Abb 88), verschmelzen jedoch nie miteinander,

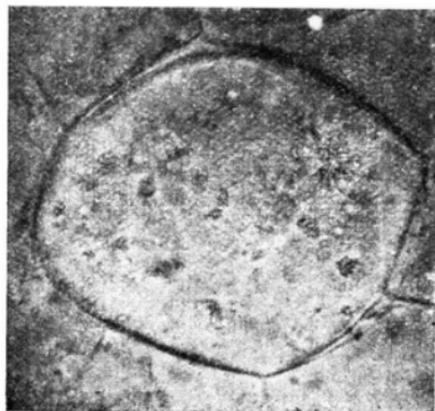


Abb. 88.

Fettkügelchen im Zytoplasma aus dem Oberteil der Zelle.

Vergr.  $\pm$  302  $\times$ .

was auf eine verhältnismässig starke Viskosität derselben hinweisen würde. Erst unter der Einwirkung von Sudan III (bei hoher Temperatur) verschmelzen sie miteinander in grössere, sich intensiv färbende Kugeln. Osmiumsäure färbt sie braun. Ausserdem treten neben der Zellwand Aggregate einer glas hellen Substanz auf, die auf der Zellwand oft sphärische Auswüchse bilden. Näheres über diese Bildungen siehe unten.

Mit Chondriom - Vitalfarbstoffen erreichte ich bisher kein positives Resultat. Manchmal jedoch begegnet man in dem unteren Teil der Zelle, insbesondere aber in dem circumnucleärem Zytoplasma, gewissen Strukturen die auf Phot. 1 u. 2 Taf. IV abgebildet sind. Wie daraus zu ersehen ist, treten

hier hyaline, fadenförmige, manchmal stark gewundene Gebilde auf. In einem derartig gebauten Zytoplasma finden schwache Bewegungen statt, während der eine Verlagerung der fadenförmigen Gebilde zustandekommt. Vergleichen wir die Phot. 1—2 Taf. IV, die die erwähnten Strukturen in lebenden Zellen darstellen, mit dem Charakter des Zytoplasmas nach Fixierung mit Bouin<sup>1)</sup>, so ergibt sich eine gewisse Ähnlichkeit der betreffenden Strukturen.

Um einen besseren Einblick in die hier vorherrschenden Verhältnisse zu gewinnen, führte ich an den lebenden Zellen eine reversible Koagulation mit verdünnter Essigsäure durch (Bělař, 1930). Durch Essigsäure werden in der Tat fadenförmige Strukturen als reversible Erscheinung zum Vorschein gebracht. Gleichzeitig jedoch treten auch auf dem Gebiete des Kernes und des Nucleolus deutliche Strukturen auf. Die Zellen, in denen die erwähnten fadenförmigen Strukturen von selbst auftraten, besitzen vollständig normale Kerne und Kernkörperchen (Phot. 1—2. Taf. IV). Nach mehrfacher abwechselnder Einwirkung von verdünnter Essigsäure und verdünntem Ammoniak auf die lebende Zelle, erhalten wir ein vollkommen ähnliches Bild: deutliche fadenförmige Zytoplasmastrukturen nebst einem ganz normalen, nicht koaguliertem Kern.

Ich muss jedoch betonen, dass trotz manchen Analogien auch gewisse Unterschiede zwischen den Fadenstrukturen der lebenden und der koagulierten (fixierten) Zellen bestehen. In den erstgenannten Zellen erwecken die Fäden den Eindruck von fetthaltigen Myelinsubstanzen, während sie auf dem koagulierten Material eher Rissen oder Spalten ähneln. Immerhin kommen die betreffenden Strukturen auch da, wo sie während der vitalen Beobachtung nicht auftreten, nach der reversiblen Koagulation zum Vorschein. Dieser Umstand hängt anscheinend mit dem spezifischen Charakter der betreffenden Zellen zusammen, deren Zytoplasma die besondere Fähigkeit zur Ausbildung der erwähnten Strukturen besitzt.

Nach den modernen Anschauungen über das „Ergastoplasma“, wie sie in dem Handbuch von Guilliermond, Mangenot und Plantefol (1933) ausgedrückt wurden, dürften die erwähnten fadenförmigen Gebilde als „simples

<sup>1)</sup> Bei Anwendung von B e n d a's Fixierlösung treten derartige Strukturen nicht auf.

artifices de préparation, correspondant à des figures d'altération sous l'influence des fixateurs des chondriosomes ordinaires, des plastes ou des vacuoles" aufgefasst werden „peut être aussi, correspondent—elles à des différences de composition chimique dans certaines régions du cytoplasme" (l. c., S. 348). Aus meinen oben dargestellten Untersuchungen sowie aus dem Umstande, dass die erwähnten Strukturen bloss nach gewissen Fixierlösungen zum Vorschein kommen, liesse sich folgern, dass es sich hier um gewisse reversible Strukturen handelt. In welchem Verhältniss dieselben zum Chondriom bzw. Vacuum stehen, kann ich einstweilen nicht sagen; ich zweifle jedoch nicht, dass der Unterschied im Chemismus der einzelnen Zytoplasmapierten hier die wichtigste Rolle spielt. Im Zusammenhang damit wäre es nicht unratsam, hier an die Beobachtungen von Küster (1932) über das Zytoplasma zentrifugierter *Spirogyra*-fäden zu erinnern. Küster beobachtete hier „kleine lokale Plasmaströmchen", die er mit den Allinanten von Meyer (1920, S. 428, Fig. 145) und den Chondriosomen vergleicht, die Mangenot bei *Spirogyra* beobachtete. Aus der Darstellung Küsters folgt, dass diese Plasmaströmchen ganz von Granulakörnchen frei sein können und dass dann diese Plasmabahnen als ein „sehr zartes schwach glänzendes Netzwerk sichtbar sind" (l. c., S. 198). Da es auf Grund der von Küster beigefügten schematischen Skizze leider unmöglich ist—wie es der Autor selbst zugibt—sich eine Anschauung über den Charakter der erwähnten Strukturen bei *Spirogyra* zu bilden, fällt es mir schwer zu entscheiden, inwieweit die von mir beobachteten Strukturen denjenigen Küster's entsprechen, umsomehr, als es ihm unmöglich war „diese zarten Liniensysteme im Lichtbild festzuhalten oder durch eine Handzeichnung zu veranschaulichen" (l. c., S. 198)<sup>1)</sup>. Interessante Angaben über ähnliche

<sup>1)</sup> „Fig. 4 stellt eine *Spirogyra*—zelledrei Stunden nach der Schleuderbehandlung dar, die Skizze kann aber nur über die Richtung der Strömchen und nicht über ihre optische Erscheinung Auskunft geben: man sieht im Plasmabelag zahlreich Strömchenbahnen — gerade oder gekrümmte; wandernde Granula sind spärlich geworden, und an ausgedehnten Arealen der Zellenoberfläche sind keine Strömchen mehr deutlich erkennbar. Diese lassen sich manchmal mit dem Bilde vergleichen, das oftmals in vielfach gekrümmten Fäden beisammenliegende Stäbchenbakterien zustandebringen; ein ähnlicher Vergleich hat sich bei Betrachtung zarter, plasmatischer

Plasmastrukturen enthält ebenfalls die Arbeit von Zacharias (1888, S. 51—55). Ich möchte noch hinzufügen, dass die auf Photo 1-2 wiedergegebenen Bilder den Plasmaentmischungsbildern von Gicklhorn (1932 a, S. 93, Phot. 1c) nicht ähnlich sind. Ich weiss auch nicht, ob nicht eine gewisse Analogie zwischen unseren Strukturen und diesen, welche Weber (1930) in *Thea* — kronenblättern beschrieben hat, existiert.

Die Vacuolen der Wurzelhaarzellen färben sich mit Vitalfarbstoffen nur mit Mühe, günstigere Resultate sind in jüngeren Stadien möglich. Selektiv färben sich dagegen die Basalzellen, die den unteren, breiteren Teil der Wurzelhaarzelle umfassen, und auf welche Arber ihre Aufmerksamkeit lenkte. Sehr deutliche Bilder in dieser Hinsicht kann man durch vitale Färbung mit Neutralrot erreichen (Photo 13, Tafel IV). Eine ähnliche elektive Färbung von Epidermiszellen, an der Basis von Sekretionshaaren, beobachtete Gicklhorn (1932b, S. 383) bei *Geranium macrorrhizum*.

In den mit Neutralrot gefärbten Vacuolen junger Trichocysten bilden sich oft Niederschläge, die in ihrer Form an die „somatoiden Kristalle“ in den Subepidermalzellen der *Ceratophyllum*-blätter erinnern (Gicklhorn, 1929). In unserem Falle liegen aber diese Bildungen bestimmt in den Vacuolen, nicht im Zytoplasma<sup>2)</sup>.

## 2. Die Membranen.

Die Trichocysten von *Stratiotes aloides* eignen sich besonders zur Beobachtung verschiedener Plasmadegenerationserscheinungen, die unzweifelhaft in die Kategorie der „zellulösen Degeneration“ im Sinne Küsters (1925, 1929) einzureihen sind. In dem betreffenden Falle treten sie in dreierlei Form auf: als übermässige, sekundäre Verdickungen der Wurzelhaarmembranen, als Membranauswüchse an der

---

Strömungsbilder schon Wigand (1885) aufgedrängt. Auch an die für Chondriosomen entworfenen Zeichnungen wird man zuweilen von den Lasma Bahnen erinnert“. (Küster, 1932, S. 198). Von mir unterstrichen. Vergl. auch Scarth's (1927) „Kinoplasm“, seine Phot. 1—4, Taf. III.

<sup>2)</sup> Vgl. diesbezüglich die Aufsätze von Weber (1929) und Guillemond (1930).

Zellbasis, von denen früher schon die Rede war, und als spezifische glashelle Aggregate im Zytoplasma.

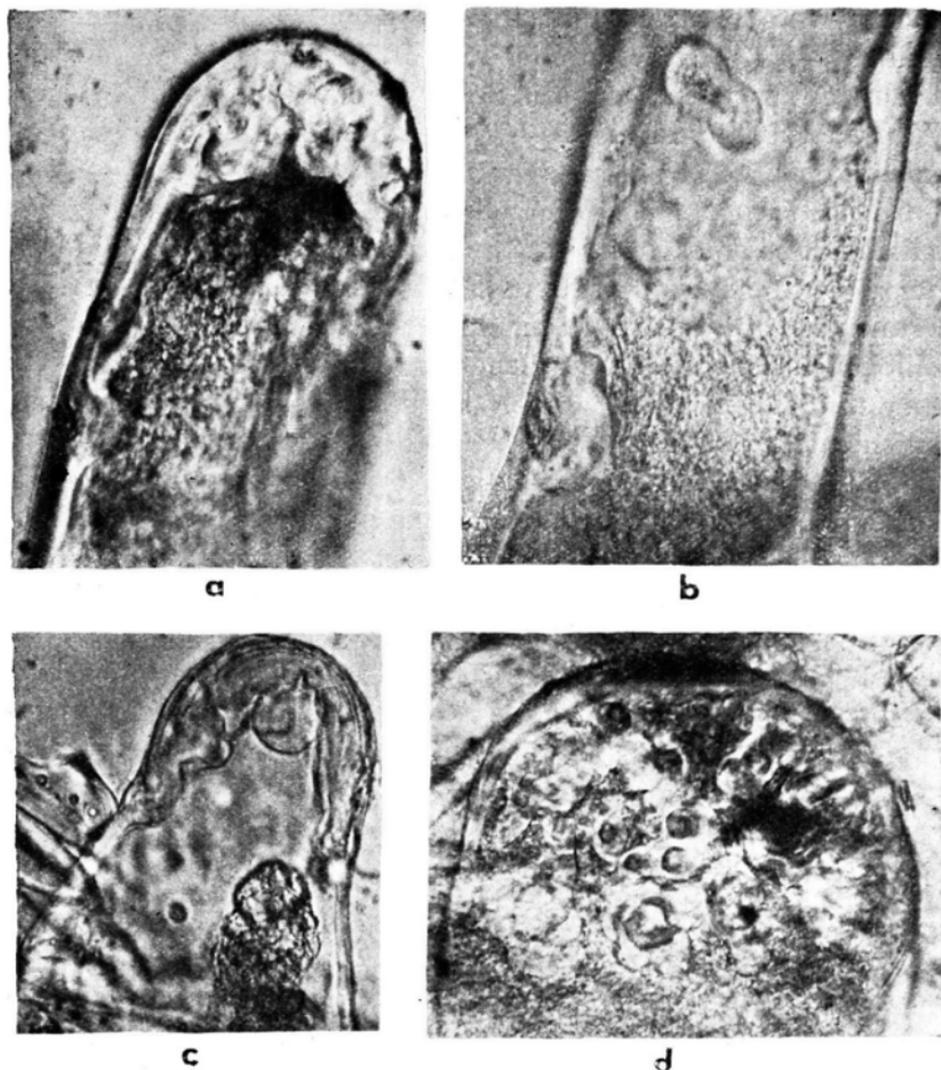


Abb. 89.

„Zellulose“ Degeneration des Zytoplasmas in den Wurzelhaarzellen von *Stratiotes aloides*. Innerhalb der Kallose- bzw. Zellulosemasse eingeschlossene Plasmaportionen. a, b, c — die Wurzelhaare von der Seite gesehen, d — von oben. Vergr.  $\pm 600 \times$ .

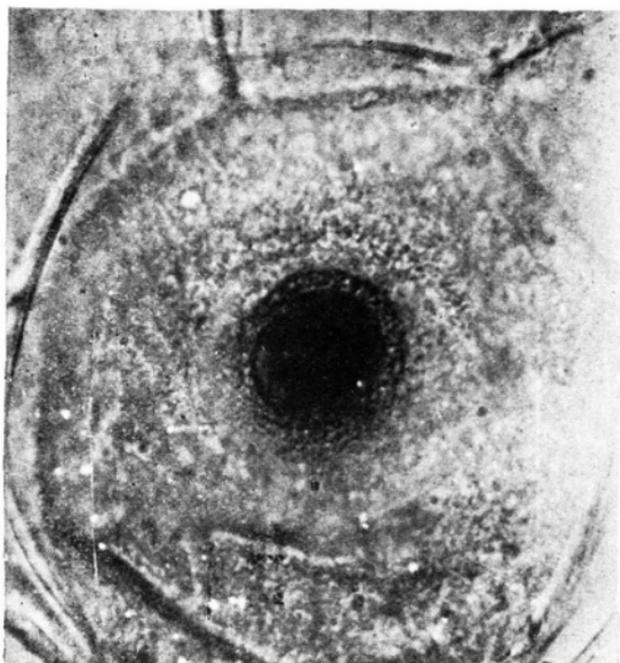
Die Verdickung der Wurzelhaarmembranen, insbesondere auf der Spitze derselben (in der Literatur oft beschrieben), stellt kein besonders günstiges Objekt für vitale Beobachtungen dar, da sie in ausgewachsenen und verhältnis-

mässig langen und daher leicht zu beschädigenden Wurzelhaaren stattfindet. Die Wurzelhaarspitze ist bei *Stratiotes aloides* von einer dicken und eine deutliche Lamellenstruktur aufweisenden Membran bedeckt (Abb. 89). Beinahe als Regel bleiben zwischen den einzelnen Membranlamellen Plasmafragmente eingeschossen, an die sekundär neue Lamellen angelegt werden. (Abb. 89).

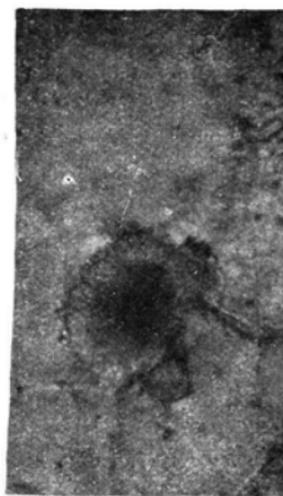
Auf frühen Entwicklungsstadien, wenn das Wurzelhaar über die Linie der Epidermis erst hinauszuwachsen beginnt, kann man unterhalb der oberen Zellwand oft glasartige Aggregate bemerken. Sehr charakteristisch ist das Aussehen derselben nach elektiver Vitalfärbung mit Eosin, Erythrosin und Rubin S. Nach meinen Beobachtungen färben die erwähnten Farbstoffe besonders leicht die zentrale Partie der Aggregate. Bei Anwendung von Erythrosin z. B. färbt sich die zentrale, wie eine homogene und kompakte Masse aussehende Zone rot, dann folgt eine körnige, gelbliche Zone; rings um dieselbe liegt wieder eine homogene, aber farblose Zone (Abb. 90). Bei Benützung von Rubin S ist die zu äusserst gelegene, körnige Zone ebenfalls gefärbt. Die Zentralzone ist entweder homogen — wie in dem angeführten Falle — oder, was seltener vorkommt, sie weist einen mehr oder weniger deutlichen radiären Bau auf (Abb. 90, b). Dasselbe trifft auch auf die glashelle, farblose, äussere Zone des Sphäroids zu. Von den ausprobierten Vitalfarbstoffen (Neutralrot, Methylenblau, Kresylblau, Janusgrün, Phenosafranin, Eosin, Erythrosin, Rubin S, Kongorot) färbt bloss Janusgrün die zentralen Partien dieser sphärischen Gebilde, ähnlich wie die sauren Farbstoffe (Abb. 90, c). Aus dem Verhalten der erwähnten Farbstoffe gegenüber den erwähnten Gebilden folgt, dass wir es mit einer Degeneration von zytoplasmatischen Klumpen zu tun haben. (Ridgway, 1913).

Wie mir scheint, erinnern die sekundären Membranverdickungen an den Rhizoiden von *Chara*, die seinerzeit von Zacharias (1889) beschrieben wurden, sehr stark an die sphärischen Gebilde an den Trichocysten von *Stratiotes*. Möglicherweise sind sie mit den Gebilden verwandt, die Küster (1899, 1900, 1932a, 1934) bei den Meeressiphonien feststellte. Die geschichteten Ringe degenerierten Plasmas auf Phot. 12 a und b bei Küster (1932a) erinnern an die kon-

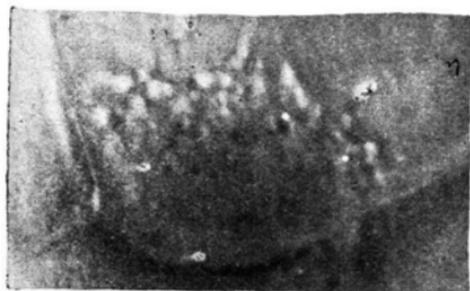
zentrische Anordnung unserer Sphäroide. Küster färbte dieses degenerierende Plasma mit Ruthenium - und Kongorot.



a



b



c



d

Abb. 90.

Kristallsphäroide aus dem Apikalteil der Trichocyste nach elektiver Vitalfärbung. a und d mit Erythrosin, b — mit Rubin S, c — mit Janusgrün gefärbt. Vergr.  $\pm 600\times$ .

Gleichzeitig mit dem Auftreten der Sphäroide an der Spitze der Wurzelhaarzelle, bilden sich auf dem Boden der Zelle die korallenartig verzweigten Membranauswüchse (Abb. 91; Phot. 3 Taf. IV). Auf Grund der ausführlichen Literatur über diesen Gegenstand (siehe Küster, 1929, S. 141 — 143) darf

angenommen werden, dass die betreffenden Auswüchse durch Erstarrung und Umwandlung entsprechender Plasmabrücken

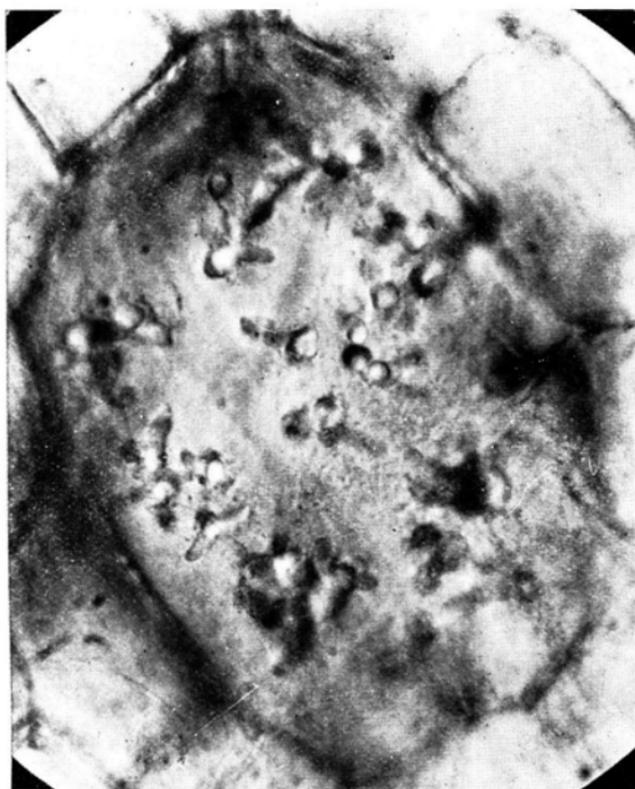


Abb. 91.

Membranauswüchse aus dem Basalteil der Zelle, *in vivo* mit Phenosafranin gefärbt, von der Basalwand der Trichocyste aufgenommen. Vergr.  $\pm 1000 \times$ .

entstehen. Diesen Prozess vermochte ich allerdings bei *Stratiotes bishi* er nicht zu verfolgen; für eine derartige Annahme sprechen jedoch meine Beobachtungen über die Entstehung analoger Auswüchse in den Wurzelhaarzellen von *Elodea canadensis* (Kroemer). Bei dieser Pflanze kann man den Prozess der Erstarrung der Plasmabrücken sowie der Umwandlung einiger Schichten derselben in korallenartig verzweigte, an die Membran angelehnte Auswüchse genau, Schritt um Schritt, verfolgen. Immerhin werfen auch manche Einzelheiten im Bau der betreffenden Auswüchse bei *Stratiotes* ein gewisses Licht auf den Mechanismus der zytoplasmatischen Umwandlungen.

Schon bei vitaler Beobachtung lässt sich feststellen, dass die betreffenden Auswüchse nicht homogen sind. Als ich mit Sudan III die Probe auf Fette auf in Alkohol fixiertem Material durchführte, sah ich auf den Schnitten ganz deutlich, dass das Innere eines jeden Auswuchses mit Zytoplasma ausgefüllt war, innerhalb der eine grosse Anzahl von winzigen Fettkügelchen sich verfärbte (Phot 9—12 Taf. IV). Sehr lehrreich sind in dieser Hinsicht die jungen Stadien dieser Auswüchse, insbesondere von der Basis aus gesehen. Der zylindrische Charakter derselben unterliegt gar keinem Zweifel (Phot. 12, Taf. IV). Durch Vitalfarbstoffe wurde das im Innern der Membranauswüchse liegende Zytoplasma nicht gefärbt (vgl. die Färbung der Sphäroide). Die Feststellung einer derartigen Struktur in den betreffenden Gebilden zwingt uns—wie mir scheint—zu der Annahme, dass das Zytoplasma aus deutlichen Schichten von verschiedenem Charakter zusammengesetzt ist (Linsbauer, 1929).

In gewissen Fällen, wie z. B. auf Abb. 90c, spricht die Entstehung der Aggregate sowie der Sphäroide aus der glas hellen Substanz dafür, dass kein grundsätzlicher Unterschied zwischen den korallenartigen Auswüchsen am Zellboden und den Aggregaten an der Zellspitze, besteht. In dem auf Abb. 90c abgebildeten Aggregat ist der Mittelteil mit Janusgrün vitalgefärbt.

### 3. Der Kern.

Schon bei oberflächlicher Betrachtung der Wurzelhaarzellen fällt der grosse Kern mit dem Kernkörperchen auf. In gesunden, in normalen Bedingungen befindlichen Zellen besitzt der Kern keine oder nur sehr schwach ausgeprägte Struktur, er ist fast homogen, optisch leer. Von gewissen Differenzierungen abgesehen, besitzt auch der Nucleolus einen ähnlichen Charakter, er bricht bloss stärker das Licht. In Anbetracht ihrer Grösse (vgl. die oben angegebene Tabelle) stellen sowohl der Kern, wie das Kernkörperchen ein sehr geeignetes Material für Untersuchungen an den betreffenden Strukturen dar. Vor allem kann man auf Grund ihres Aussehens, sozusagen, den Gesundheitszustand der Zelle ermitteln. In dem Momente nämlich, in dem die Zelle abzusterben beginnt, kommt im Kern eine flockig-netzartige Struktur zum Vorschein, der Nucleolus erfährt eine starke Vacuolisierung und zieht sich

zusammen, so dass zwischen dem Kernkörperchen und dem Karyotinnetz ein breiter, sehr deutlicher Streifen zurückbleibt (Phot. 5—6 Taf. IV). Einen ganz, bzw. wenigstens sehr ähnlichen, Zustand können wir in den erwähnten Organoïd künstlich mittels der Bělar'schen reversiblen Koagulation hervorrufen.

Da über das Verhalten des Nucleolus in Sekretionszellen bzw. Absorptionszellen, abgesehen von den mit fixiertem Material durchgeführten Untersuchungen der Königsberger Schule, bis jetzt nur eine einzige vitale Untersuchung von Linsbauer (1932) vorliegt, schien es mir äusserst interessant, diese Frage an meinem Objekte zu verfolgen.

Die Trichocysten von *Stratiotes aloides* eignen sich in dieser Hinsicht vielleicht besser zur Untersuchung als die Blasenellen von *Mesembryanthemum*, und zwar aus dem Grunde, dass ihre Kerne unbeweglich im Plasma eingeschlossen sind. Die amöboidalen Bewegungen des Nucleolus, die ich beobachtete, sind, obwohl sie langsam verlaufen, sehr typisch. In einigen Fällen gelang es mir die Knospung des Nucleolus zu verfolgen. Das Kernkörperchen streckt in das Gebiet des Kernes einen pseudopodiumartigen Fortsatz aus (Phot. 8, Taf. IV), der nach einer gewissen Zeit sich allmählich zusammenzieht und im Kerne ein kleines Stückchen Nucleolarsubstanz zurücklässt, das — nach meinen Beobachtungen wenigstens — immer eine kugelige Form besitzt. Im Verlaufe von einigen Stunden schied der Nucleolus einige derartige „Knospen“ aus. Ihre Gestalt beweist, dass sie sich aus flüssigen Substanzen zusammensetzen. Ich glaube, dass wir diese amöboidalen Bewegungen des Kernkörperchens „nicht als Ausdruck vitaler Eigenschaften des Nucleolus“ (Linsbauer, 1932, S. 6), noch auch als rein mechanische Veränderungen auffassen dürfen. Wahrscheinlich beruhen diese Erscheinungen, wie Linsbauer anzunehmen glaubt, „auf Veränderungen der Oberflächenspannung, die durch den nucleären Stoffwechsel bedingt sind“ (Linsbauer, 1932, S. 7). Trotz längerer Beobachtung gelang es mir leider nicht, das weitere Schicksal der erwähnten „Knospen“ zu verfolgen. Ebenso fand ich niemals derartige „Knospen“ ausserhalb des Kernes (vergl. Marwiński, 1930), beobachtete auch nie die Ausscheidung derart typischer Vacuolen, wie sie gewöhnlich in bereits degenerierenden Nucleolen vorhanden sind (Phot. 5—7,

Taf. IV) (vergl. Linsbauer, 1932 bei *Mesembryanthemum*). Es fragt sich, ob die beobachtete Knospung als Durchschnürung oder Fragmentation des Nucleolus aufgefasst werden kann, oder vielleicht mit der Ausscheidung irgend einer Substanz zusammenhängt. Die vom Pseudopodium im Kerne zurückgelassene Substanz scheint nämlich flüssig zu sein; anderseits lassen sich im normalen Kernkörperchen verschiedene Inclusionen und vacuolartige Gebilde feststellen (Phot. 5, 7. Taf. IV).

Zwecks Erleichterung der Beobachtungen, wie auch um die sich hier einstellenden Zweifel zu lösen, versuchte ich die Nucleolen *in vivo* mittels Pyronin zu färben. Diese Färbung kann nicht als Vitalfärbung betrachtet werden, da sie von rasch fortschreitenden Degenerationsprozessen im Kerne begleitet ist. Das, was ich dabei ermitteln konnte, scheint eher für eine Ausscheidung irgendeiner Substanz aus dem pseudopodialen Fortsatz des Nucleolus, als für die Durchschnürung dieser Fortsätze zu sprechen.

Das beigefügte Phot. 7 Taf. IV stellt das mit Pyronin gefärbte, im Zustande einer weit fortgeschrittenen Degeneration (Vacuolisation) befindliche Kernkörperchen dar. Im Momente der Färbung besass der Nucleolus eine derartige Gestalt, wie wir sie bei jeder „Knospung“ beobachten (vergl. Phot. 8 Taf. IV mit Phot. 7). In einem gewissen Momente erfolgte die Kontraktion des Nucleolus und zu gleicher Zeit wurde aus dem pseudopodiumartigen Fortsatz ein Tropfen einer flockigen, mit Pyronin sich ebenfalls färbenden Substanz ausgeschieden (Phot. 7 Taf. IV). Da diese Erscheinung in einer Zelle auftrat, die der schädlichen Einwirkung von Pyronin ausgesetzt war, ist es mir nicht möglich zu beurteilen, ob sie lediglich als Ausdruck der Degeneration auftritt oder doch mit den oben dargestellten Prozessen der „Knospung“ in den normalen Zellen in irgendwelcher Beziehung steht.

### Z u s a m m e n f a s s u n g.

In der vorliegenden Arbeit berichtet die Verfasserin über die Ergebnisse ihrer Vitalbeobachtungen an den Trichocysten von *Stratiotes aloides*. Die genannten Zellen bieten viel interessantes Material für vitale Untersuchungen dar über:

- 1) die Struktur des Zytoplasmas,
- 2) die Zellulosedegeneration des Zytoplasmas,
- 3) die Rolle, sowie das Verhalten des Nucleolus.

## Literatur.

- Arber A. 1925. Monocotyledons. Cambridge, 258 pp.
- Belar K. 1930. Über die reversible Entmischung des lebenden Protoplasma I. Protoplasma, **9**, 209.
- Gicklhorn J. 1929. Kristalline Farbstoffspeicherung im Protoplasma und Zellsaft pflanzlicher Zellen nach vitaler Färbung. Protoplasma, **7**, 341.
- 1931. Elektive Vitalfärbungen. Probleme, Ziele, Ergebnisse, actuelle Fragen und Bemerkungen zu den Methoden. Erg. der Biologie, **7**, 551.
- 1932a. Intracellulare Myelinfiguren und ähnliche Bildungen bei der reversiblen Entmischung des Protoplasmas. Protoplasma, **15**, 90.
- 1932b. Beobachtungen zu Fragen über Form, Lage und Entstehung des Golgi-Binnenapparates. Protoplasma, **15**, 365.
- Guilliermond A. 1930. Le vacuome des cellules végétales. Protoplasma, **9**, 133.
- Guilliermond A., Mangenot G. et Plantefol L. 1933. Traité de cytologie végétale. Paris, 1495 pp.
- Haberlandt G. 1918. Physiologische Pflanzenanatomie. Leipzig, 670 pp.
- Kny L. 1878. Korallenartig verzweigte Membranverdickungen in den Wurzelhaaren von *Stratiotes*. Verh. Bot. Vereins der Prov. Brand. **20**, 48.
- Koehring V. 1930. The neutral-red Reaction. Journ. of. Morph. and Physiol., **49**, 45.
- Kroemer K. 1903. Wurzelhaut, Hypodermis und Endodermis der Angiospermenwurzel. Bibl. Bot., **59**, 1.
- Küster E. 1899/1900. Über *Derbesia* und *Bryopsis*. Ber. Deutsch. Bot. Ges., **17**, 77.
- 1925. Pathologische Pflanzenanatomie, III Aufl.
- 1929. Pathologie der Pflanzenzelle I. Pathologie des Protoplasmas. Berlin, 200 pp.
- 1932a. Die Protoplasmablasen bei *Caulerpa*. Protoplasma, **15**, 215.
- 1932b. Protoplasmaabewegung in zentrifugierten Zellen. Ber. der Oberhess. Ges. für Natur- und Heilk., Giessen, **15**, 194.
- 1934. Über Zellsaft, Protoplasma und Membran von *Bryopsis*. Beiträge zur Pathologie des Protoplasmas. Ber. Deutsch. Bot. Ges., **51**, 526.
- Linsbauer K. 1929. Untersuchungen über Plasma und Plasmaströmung an *Chara*-zellen. I. Protoplasma, **5**, 563.
- 1932. Kerne, Nucleolen und Plasmabewegungen in den Blazenzellen von *Mesembryanthemum cristallinum*. Sitzber. Akad. Wiss. Wien, Math. Naturw. Kl. Abt. I, **141**, 1.
- Mangenot G. 1929. Sur les constituants morphologiques du cytoplasme des Spirogyres. C. Rend. Soc. Biol. **101**, 663.
- Marwiński H. 1930. Die Rolle des Nucleolus bei der Fermentproduktion in keimenden Samen. Bot. Arch., **28**, 225.

- Meyer A. 1920. Morphologische und physiologische Analyse der Zelle der Pflanzen und Tiere. I T. Jena, 629 pp.
- Něm ec B. 1930. Nauka o bunce. Praha, 321 pp.
- Pekarek J. 1929a. Die Vitalfärbung als allgemeine botanische Untersuchungsmethode. Kolloidchem. Beihefte, **28**, 280.
- 1929b. Vitalfärbung von Nektarien. Kolloidhem. Beihefte, **28**, 353.
- 1932. Ein vergessenes Objekt für das Studium der Kern- und Zellteilungsvorgänge im Leben. Planta, **16**, 788.
- Ridgway M. 1913. The occurrence of callose in root hairs. Plant World, **16**, 116.
- Scarth G. W. 1927. The structural organization of Plant Protoplasm in the Light of micurgy. Protoplasma, **2**, 189.
- Weber F. 1929a. Protoplasmatische Pflanzenanatomie. Protoplasma, **8**, 291.
- 1929b. Vacuolenkontraktion vitalgefärbter *Elodea*-Zellen. Protoplasma, **9**, 106.
- 1930. Vacuolenkontraktion und Protoplasmaentmischung in Blütenblattzellen. Protoplasma, **10**, 598.
- Zacharias E. 1888. Ueber Kern- und Zellteilung. Bot. Ztg. **46**, 33 u. 51.
- 1889. Ueber Entstehung und Wachstum der Zellhaut. Jahrb. f. wiss Bot., **20**, 207.

### Erklärung der Tafel IV.

- Phot. 1—2. Fadenförmige Zytoplasmastrukturen in einer lebenden Wurzelhaarzelle von *Stratiotes aloides* („Kinoplasma“ von Scarth). In der Mitte der Kern mit dem amöboiden Kernkörperchen. Vergr.  $\pm 1000\times$ .
- Phot. 3. Korallenartige Auswüchse an der Basalwand einer Trichocyste, *in vivo*. Vergr.  $\pm 1000\times$ .
- Phot. 4. Normale Gestalt des Kernes und des Nucleolus in lebenden Zellen (vergl. auch Phot. 1 u. 2). Links über dem Kernkörperchen ein soeben ausgeschiedenes Phragment der Nucleolarsubstanz.
- Phot. 5—6. Strukturveränderung des Nucleolus (5) und des Kernes (6) während der Tötung, Fixierung, bzw. umkehrbaren Koagulation.
- Phot. 7—8. Knospung (Ausscheidung?) des Nucleolus auf einem mit Pyronin „vital“ — gefärbten Präparat (7), sowie in einer lebenden gesunden Zelle (8). In beiden Kernen ist der pseudopodiale Fortsatz des Nucleolus sichtbar.
- Phot. 9—12. Bau der Membranauswüchse an der Basalmembran der Zelle. Präp. mit Sudan III behandelt.
- Phot. 13. Elektive Vitalfärbung der den Basalteil der Trichocyste umgebenden Zellen mit Neutralrot.

