



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Beiträge zur Protoplasmaforschung an Spirogyra-Zellen
Author(s)	SAKAMURA, Testu
Citation	Journal of the Faculty of Science, Hokkaido Imperial University. Ser. 5, Botany, 2(4), 287-316
Issue Date	1933
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/26223
Type	departmental bulletin paper
File Information	2(4)_P287-316.pdf



Berichtigung

Der Vorname des Verfassers „TETSU“ statt „TESTU“.

Beiträge zur Protoplasmaforschung an *Spirogyra*-Zellen

Von

TESTU SAKAMURA

Mit Tafel XIV, XV und 9 Textfiguren.

Einleitung

Spirogyra ist seit langem dank ihrer einfachen Organisation und Zugänglichkeit für mikroskopische Zellstudien als ein geeignetes Material in der Zellphysiologie bekannt. Morphologische bzw. kolloidchemische Protoplasmauntersuchungen, die oft von grundlegender Bedeutung für die physiologische Zellforschung sind, wurden an dieser Alge von mehreren Forschern ausgeführt. Trotzdem die bisherigen einschlägigen Arbeiten viel Lehrreiches bieten, ist eine weitere Entwicklung der Forschung auf diesem Gebiet immer noch nötig, besonders, wenn es sich um die Durchführung von physiologischen Untersuchungen handelt, welche mit den der Beobachtung zugänglichen Zellbestandteilen in inniger Beziehung stehen. Die vorliegende Mitteilung leitet eine Serie von physiologischen Studien an *Spirogyra* ein, für die sie eine möglichst sichere Grundlage liefern soll.

Die von mir verwendete *Spirogyra* gedeiht üppig das ganze Jahr hindurch in einem Teiche der hiesigen Universität, dessen Wasser selbst im Winter nicht friert. Da bis jetzt Zygosporienbildung nicht beobachtet wurde, konnte der Artnamen nicht bestimmt werden. Die morphologischen Eigenschaften der vegetativen Zellen sollen hier kurz beschrieben werden (Photo 1).

Vegetative Zellen 68μ dick, 2 mal so lang, mit einfachen Scheidewänden, 1 Chromatophor mit 3–7 (gewöhnlich 6) Umgängen.

Die Pflanze ist identisch mit der von mir (1922) früher bei den Untersuchungen über die Selbstvergiftung von *Spirogyra* im destillierten Wasser benutzten. Wie schon damals festgestellt wurde, ist es nötig, bei den Experimenten die sogenannten „Hungerpflanzen“ zu benutzen. Die Zellfäden lassen sich folgendermassen vom „gesättigten Zustand“ in den Hungerzustand überführen: Frische Ver-

suchspflanzen werden einige Tage vor dem Versuch zusammen mit Teichwasser ins Laboratorium gebracht und in einem dunkeln Raum die Nacht über stehen gelassen. Zur Zeit der Untersuchung sind die Pflanzen gesund, es fehlen ihnen aber Stärkekörner, und die Chloroplasten sind abgemagert. Die Hungerpflanzen bleiben tagelang im destillierten Wasser ohne merkliche Schädigung. Die Fäden wurden mit einer gebogenen Platinöse herausgenommen und je nach Bedarf wiederholt mit destilliertem Wasser gewaschen. Zur Herstellung der Präparate wurden Objekt- und Deckgläser von ZEISS und LEITZ gebraucht, die sich praktisch als alkalienfrei erwiesen haben. Verschiedene unerwartete Faktoren, die bei dem Präparieren auf die Zellen schädlich wirksam sind, sollen später an den betreffenden Stellen besprochen werden. Für Dunkelfeldbeobachtung wurden der Kardiodkondensor von ZEISS und die Azimutblende nach SZEGVARI als Zusatzapparat verwendet. Die Anwendung der ZEISSschen Kompensationsokulare und apochromatischen Objektive von verschiedenen Vergrößerungen, besonders der homogenen Oel-Immersion 90 mit Irisbl. (X), ergab befriedigende Resultate. Als Lichtquelle diente die LEITZsche Bogenlampe oder Spezial-Niedervolt-Glühlampe, und als Lichtfilter die ZETTNOWSche Filterflüssigkeit.

Cytoplasma

Nach SCARTH (1927b) soll das granuläre Kinoplasma von *Spirogyra* in Fadenform das unbewegliche gelatinöse Grundplasma emcytoplasmatisch durchströmen. Diesen Befund von SCARTH konnte ich an meinem Material nicht bestätigen. Das Kinoplasma von SCARTH scheint derjenigen Plasmapartie zu entsprechen, welche mit dem Zellsaftraum direkt in Berührung steht und örtlich starke zitternde Bewegung aufweist. Diese Plasmapartie enthält meistens Mikrosomen und kommt bald in strömender Fadenform, bald in der Form von Protuberanzen zum Vorschein, wenn das Cytoplasma sich örtlich ansammelt. Zwei parallel laufende Plasmastränge (Kinoplasma nach SCARTH) zeigen oft entgegengesetzte Strömungsrichtungen, und ihre Lokalisierung ist stets veränderlich. Wenn das Kinoplasma das unbewegliche gelatinöse Grundplasma durchströmen könnte, wie SCARTH glaubt, dann liessen sich seine leichte Beweglichkeit, Formänderung usw. kaum erklären.

A. MEYER (1920, S. 428) beobachtete im Zellsaft von *Spirogyra* Bildung von Vakuolen. Diese sollen nach ihm „sich bewegende

und sich in dem Wandbeleg verschiebende Vakuolen, mit rundlichem Vorderende und meist von gestreckter Gestalt“ und viel stärker lichtbrechend als der andere Teil des Cytoplasmas sein. Diese Vakuolen von MEYER sind nichts anderes als die oben erwähnten strömenden oder angesammelten Plasmapartien, die gewöhnlich deutlich sichtbare Teilchen enthalten oder solche, die erst bei der Verwendung der Dunkelfeldbeleuchtung erkennbar und ziemlich stark hydratisiert sind.

Durch die Verwendung der Dunkelfeld- neben Hellfeldbeleuchtung kann man die Zellteilchen⁽¹⁾ wie folgt voneinander unterscheiden:

I. Gleichmässig lichtbrechend im Dunkelfeld. Solche zeigen gewöhnlich im Cytoplasma und bisweilen auch im Zellsaft lebhaft BROWNSche Bewegung.

(a) Sehr lichtbrechend, roten Blutkörperchen der Säugetiere ähnlich gestaltet (Fig. 1). In der Flächenansicht elliptisch, in der Seitenansicht hantelförmig. In normalen Zellen treten sie meistens in der letzteren Orientierung auf. In der Plasmaströmung kommen sie nicht vor („paillettes scintillantes“ nach LAPIQUE (1932), „corps cristallins réfringents“ nach MANGENOT (1930)).

(b) Kugelförmig, kleiner und schwächer lichtbrechend als a. Sie kommen in der Plasmaströmung vor (wahrscheinlich „mitochondries“ oder „chondriocotes“ nach MANGENOT).

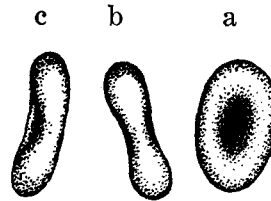


Fig. 1. Zellteilchen I a. a, In der Flächenansicht. b, In der Seitenansicht. c, In der Schrägansicht. Dunkelfeld. Der Grund ist schwarz, die schwarzen Teile sind glänzend weiss zu denken.

II. Optisch fast leer, aber von zarter Lichtlinie umgeben. Meistens kugelförmig („chondriosomes“ nach MANGENOT).

(a) Gestalt leicht veränderlich.

(b) Kleiner als a. Gestalt ziemlich beständig.

(1) Unter Zellteilchen will ich die körnigen Cytoplasma- und Zellsaiteinschlüsse zusammenfassen, die Cytosomen und Mikrosomen darstellen und sowohl von echt plasmatischer wie ergastischer Natur sein können.

Da die oben genannten Zellteilchen sich mit Sudanglycerin nicht färben, so wäre es kaum berechtigt, sie als Fetttropfen aufzufassen. Obwohl A. MEYER (1920. S. 428) bei *Spirogyra* verschiedenartige Allianten beobachtet hat, hat er keine Beschreibung gegeben, die einen Vergleich dieser Gebilde mit den von mir oben angegebenen Zellteilchen erlauben würde. Er hat aber an anderem Orte (S. 418) zweierlei Körperchen im optisch leeren Cytoplasma in der Haarzelle von *Cucurbita pepo* unterschieden; einmal gleichmässig hell leuchtende Kügelchen, vermutlich Fetttropfen, und dann die optisch leeren, aber von zarter Lichtlinie umgebenen Allianten. Ob die Zellteilchen von *Spirogyra* zu diesen Körperchen von *Cucurbita* in irgendwelcher Beziehung stehen, lässt sich einstweilen nicht entscheiden.

PRICE (1914) hat bei der Dunkelfeldbeobachtung an *Spirogyra* die Grössenunterschiede der Zellteilchen bemerkt und das Vorkommen von „sap particles“⁽¹⁾ im Saftraum bestätigt, das schon von GAIDUKOV (1906) beobachtet wurde. Unter den „sap particles“ versteht man die im Saftraum auftretenden verschiedenen Teilchen einschliesslich der Krystalle der anorganischen Salze. PRICE hat die Saftteilchen in folgende zwei Gruppen eingeteilt:

- a. Structures or particles of a vesicular or drop-like nature, with a higher refractive index than that of the cell sap.
- b. Particles with a regular and apparently prismatic crystalline form; at least this is the idea given by them as they pass through different positions.

Es wäre möglich, unsere Zellteilchen I als irgendeine Abart der von PRICE unter a genannten Saftteilchen aufzufassen, wenn man ihren starken Brechungsindex in Betracht zieht; allerdings kommen die Zellteilchen I im normalen Zustand gewöhnlich nicht im Saftraum, sondern im Plasmabeleg vor. Weder MEYER noch PRICE erwähnen, dass diese Teilchen bei *Spirogyra* bikonkav sind.

Um die Beschreibung möglichst einfach zu gestalten, möchte ich im Cytoplasma von *Spirogyra* wenigstens zwei Teile unterscheiden. Der eine ist der „Chloroplastenteil“, wo der Chloroplast und das Cytoplasma innig aneinander haften; der andere ist der „Nacktteil“, wo das Cytoplasma vom Chloroplasten ganz frei ist.

Nacktteil. Bei der Dunkelfeldbeleuchtung der Zellmembran lassen sich zwei Schichten von verschiedener Natur, nämlich die hell leuchtende äussere Schicht und die optisch leere innere Schicht

(1) Zitiert nach PRICE (1914).

unterscheiden. In Bezug auf die Natur der Grenzschicht zwischen Cytoplasma und Zellmembran kann man nur Vermutungen äussern. Soweit man aber die Plasmapartie, die an die Chloroplastenlappen grenzt, verfolgen kann, erscheint die Annahme einer nicht messbaren dünnen hyalinen Plasmaschicht nicht unmöglich. In der nächstinneren Schicht liegen nebeneinander die Teilchen (wahrscheinlich Mikrosomen), die allerdings gewöhnlich bei der Hellfeldbeobachtung nicht wahrgenommen und erst durch Dunkelfeldbeleuchtung oder Vitalfärbung mit Neutralrot wahrnehmbar gemacht werden können. Wie Photo 2 zeigt, kann man bemerken, dass in dieser Teilchenschicht hier und da eine Lücke vorhanden ist. Ob diese Körperchen mit den Zellteilchen I b identisch sind, ist schwer zu entscheiden.

Die Vakuolenschicht des Cytoplasmas sieht nicht glatt aus. Die schon erwähnten beweglichen Plasmastränge bzw. Plasmaansammlungen rufen überall ein höckeriges Aussehen der Oberfläche der Vakuolenschicht hervor.

Chloroplastenteil. Die Loslösung des Chloroplasten vom Cytoplasma (d. h. Chloroplastenkontraktion) und dessen Verlagerung beim Zentrifugieren werden heute bei der Erforschung der Viskosität, Quellung usw. des Cytoplasmas berücksichtigt. Es ist daher sehr wichtig, den Zustand der Ansatzstelle des Chloroplasten am Cytoplasmabeleg genau zu untersuchen. Da die Chloroplasten von *Spirogyra* stets eine konstante Lage und Anordnung besitzen, so lässt sich annehmen, dass sie in einer ziemlich festen Lage vom Cytoplasma gehalten werden. Schon früher hat KOLKWITZ (1899) eine wichtige Beobachtung darüber gemacht. Beim interkalaren Wachstum der *Spirogyra*-Zellen müssen die Chlorophyllbänder im Wandplasma gleiten. Dabei erweist sich die Lappung des Chloroplastenrandes als zweckmässig, weil sie das Gleiten des Chloroplasten erleichtert. KOLKWITZ (1899) nannte diesen Teil des Chloroplasten „Haftfüsschen“ oder „Verzahnung im Wandplasma“⁽¹⁾. GICKLHORN (1933) hat neuerdings die Beobachtung von KOLKWITZ bestätigt.

Im folgenden werden die Ergebnisse der eigenen Beobachtungen darüber mitgeteilt: Die Chloroplasten der normalen *Spirogyra*-Zellen sind nicht flach-bandförmig, sondern ziemlich tief eingebuchtet und bilden einen in den Zellsaftraum hineinragenden Kiel, wodurch die „Chloroplastenrinne“ (Fig. 2) entsteht. Der Rand des Chloroplasten ist in Lappen zerteilt, schwach umgebogen und im

(1) Zitiert nach GICKLHORN (1933 a, S. 581–582).

Plasmawandbeleg tief eingebettet (Verzahnung nach KOLKWITZ). Die äusseren Teile der Lappen berühren scheinbar direkt die Zellmembran, aber in der Tat sind sie durch eine nicht bemerkbare Plasmaschicht von ihr getrennt. Wenn die Zellen mehr oder weniger stark in den abnormen Zustand übergehen, wird der Chloroplast flach und es wird infolgedessen keine Rinne gebildet. Die Rinne ist zur Hälfte mit dem die direkt sichtbaren Zellteilchen enthaltenden Cytoplasma gefüllt (Rinnenplasma). Wird die gefärbte Zelle mikroskopisch bei hoher Einstellung beobachtet, so kommen die gefärbten Rinnenmikrosomen in auffallender Weise zum Vorschein (Photo 3). Die Kontur des Rinnenplasmas ist in der Flächenansicht nicht glatt und die Plasmastränge treten an der Lappenkerbe aus der Rinne

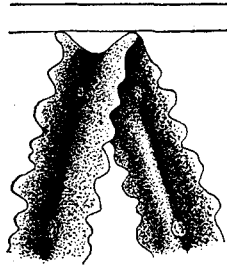


Fig. 2. Chloroplastenrinne.

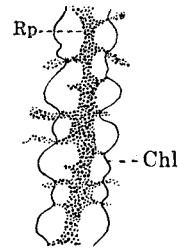


Fig. 3. Cytoplasma in der Chloroplastenrinne. Chl, Chloroplast, Rp, Rinnenplasma.

heraus; sie sind mit dem Cytoplasma des Nacktteils verbunden (Fig. 3). Diese heraustretenden Plasmastränge enthalten zahlreiche direkt sichtbare Zellteilchen, bewegen sich lebhaft und nehmen verschiedene Formen an. A. MEYER (1920, S. 653) hat bei *Spirogyra crassa* bezüglich des Rinnenplasmas konstatiert, dass die der Membran direkt anliegende Partie dünnflüssig, dagegen diejenige, welche die Chloroplasten umhüllt, sehr zähflüssig ist. Das Cytoplasma soll daher hinter dem Chloroplasten eine stark lichtbrechende Leiste bilden. Zwischen dieser und dem Chloroplasten findet sich ein modifiziertes Cytoplasma, das mittlere Lichtbrechung aufweist und in äusserst wechselnder Bewegung und Strömung begriffen ist. Dass der Chloroplast von *Spirogyra* eingebuchtet ist, ist bereits auch von LLOYD (1926) und GICKLHORN (1933) gefunden worden, und der erstgenannte Autor betrachtet die von mir festgestellten Rinnen als Vakuolen und bezeichnet sie als „Furchenvakuolen“ (= sulcus-vacuole)⁽¹⁾.

(1) Zitiert nach GICKLHORN (1933).

Die Verhältnisse, unter denen die schon geschilderten Teilchen in der Nacktpartie nebeneinander liegen und das Cytoplasma sich in der Chloroplastenrinne verteilt, können mittels Plasmolyse näher untersucht werden. Da nach der Plasmolyse der Zellsaftraum sich verkleinert, so werden die Chloroplasten von den normalen

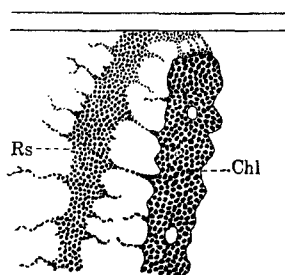


Fig. 4. Rinnenspur (Rs) in plasmolysierter Zelle. Chl. Chloroplast. Dunkelfeld. Der Grund ist schwarz, die schwarzen Teile sind glänzend weiss zu denken.

Stellen losgelöst und gleiten oft seitwärts im Zellsaftraum, solange sie sich nicht verkürzen. Hierbei bleibt das Rinnenplasma an der eigentlichen Stelle des Plasmabelegs als „Rinnenspur“ zurück, deren schwingende Plasmateilchen deutlich durch die Dunkelfeldbeleuchtung nachgewiesen werden (Fig. 4). Die Rinnenspur und der seitwärts gegleitene Chloroplast sind noch durch ausgezogene Plasmafäden miteinander verbunden, die sich auch zitternd bewegen. In welchem Grade die Rinnenspur vorkommt, hängt auch von der Natur des Plasmolytikums ab; bei CaCl_2 (0.5 mol) oder KCl (0.5 mol)

ist sie ziemlich auffällig, aber bei Rohrzucker etwas schwächer ausgeprägt. Das Rinnenplasma, welches vorher mit Neutralrot gefärbt

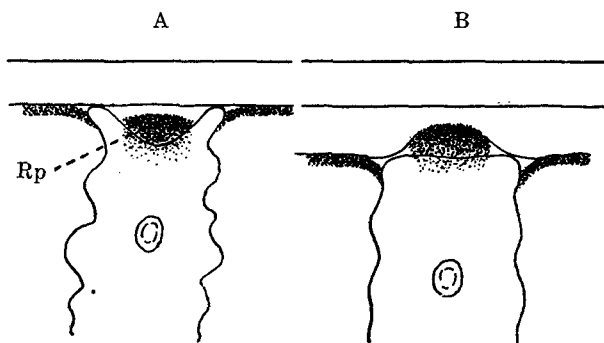


Fig. 5. Mit Neutralrot gefärbtes Cytoplasma (punktiert). Rp, Rinnenplasma. A, nicht plasmolysiert. B, plasmolysiert.

wurde, verhält sich bei der Plasmolyse mit Rohrzuckerlösung ganz anders als oben erwähnt. Der Chloroplast haftet dem Plasmabeleg an, beide ziehen sich zusammen zurück, und die dazwischen liegenden rot gefärbten Teilchen des Rinnenplasmas schrumpfen zu einer kleinen

Masse (Fig. 5). Im dem zwischen Zellmembran und Cytoplasma liegenden Hohlraum⁽¹⁾ treten einige zitternde Teilchen auf, welche mit Neutralrot nicht gefärbt werden. Der Zustand der Plasmakolloide, welche an der Erfassung der Chloroplasten teilnehmen, und das Berührungsverhältnis zwischen Cytoplasma und Chloroplasten beeinflussen nicht wenig die Plasmolyseform und rufen dann und wann tötliche Schädigung hervor. Falls der Plasmabeleg sich an

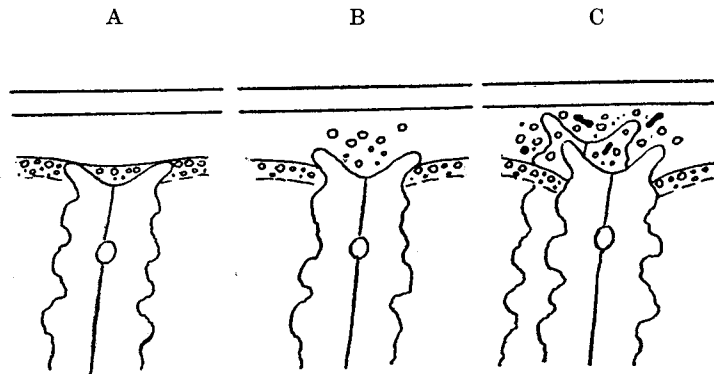


Fig. 6. Mechanische schädliche Wirkung des Chloroplasten in plasmolysierter Zelle. A, Chloroplast löst sich los zusammen mit Cytoplasmabeleg, Cytoplasmabeleg ist nicht beschädigt. B und C, Plasmabeleg ist durch die Lappenränder des Chloroplasten durchgestossen.

den Längswänden gleichmässig schnell von der Membran löst, vollzieht sich die Plasmolyse glatt und es erfolgt sofort die Konvexpasmolyse (Fig. 6 A). Aber es kommt oft vor, dass das Loslösen am Chloroplastenteil schwieriger vor sich geht als am Nacktteil. Dann wird der Plasmabeleg durch die Lappenränder des Chloroplasten durchgestossen und zerrissen, wobei der Inhalt des Cytoplasmas bzw. des Zellsaftraumes heraustritt (Fig. 6 C). Dies geschieht z.B. bei der Plasmolyse mit einem hypertonischen Phosphatgemisch ($\text{pH} = 7.4$). Erreicht aber diese mechanische Schädigung keinen hohen Grad, so wird nur die sich zwischen den beiden Lappenrändern ausdehnende Plasmaschicht dabei zerrissen und die Teilchen des Rinnenplasmas treten in den zwischen Membran und Plasmabeleg liegenden Hohlraum heraus (Fig. 6 B). Andere Plasmapartien bleiben intakt und schliessen samt dem Chloroplasten einen plasmolysierten Saft Raum

(1) Vorraum nach HÖFLER.

ein. Die Plasmapartie in der Mitte der Längswand erwies sich als die am wenigsten widerstandsfähige gegen solche Schädigung. Bei starker Schädigung schrumpft der Chloroplast zusammen, worauf der zerrissene Plasmabeleg kaum erkennbar ist, was den Eindruck erweckt, als ob der Chloroplastenklumpen direkt mit dem umgebenden Medium in Berührung käme. Der heraustretende Plasma- und Zellsaftinhalt, zumal Zellteilchen, mit Resten der Plasmaoberfläche zusammen, zerstreuen sich nun im Hohlraum. Oft bemerkt man eine Aggregation der Zellteilchen, die sich mittels der Dunkelfeldbeleuchtung klar beobachten lässt (Photo 4, 5). Diese Aggregation ist nichts anderes als eine Flockung der Mikronen und Submikronen und sie scheint durch deren direkte Berührung mit der Aussenlösung oder durch mechanische Einwirkung hervorgerufen zu werden.

Schädigung der *Spirogyra*-Zellen bei der Herstellung der Präparate

Darauf, dass der Druck des Deckglases unter Umständen auf die *Spirogyra*-Zellen schädlich wirkt, ist schon von LEPESCHKIN (1923, 1927 a, b) hingewiesen worden. Obwohl von mehreren Seiten betont wird, dass grosse Vorsichtigkeit zur Herstellung der mikroskopischen Präparate bei Lebendbeobachtung notwendig ist, so wird es in Praxis nicht selten versäumt, den Einfluss des Deckglasgewichts zu berücksichtigen⁽¹⁾. Besonders bei der Untersuchung an plasmolysierten, d.h. des Turgors verlustig gegangenen *Spirogyra*-Zellen, die gegen den Druck des Deckglases wenig widerstandsfähig sind, ruft dieser verschiedene sekundäre Deformationen der Zellelemente hervor, was auch für andere Untersuchungen an diesem Objekt gilt. Um den Einfluss des Deckglasdrucks zu beseitigen, ist bei unseren Studien oft Hahnfett von KAHLBAUM an vier Ecken um das Material herum auf dem Objektträger gestrichen worden, worauf erst das Deckglas aufgelegt wurde. Wenn schwache Vergrößerung für die Untersuchung genügt, ist auch die Herstellung des hängenden Tropfens bzw. unbedeckten Präparats sehr zweckmässig.

Die mechanische Schädigung wird auch beim Uebertragen des Objektes aus einer Lösung auf den Objektträger durch unbewusst

(1) Um Verletzungen und Schädigungen durch den Deckglasdruck zu vermeiden, hat TIROLD (1933) ganz neuerdings bei den Untersuchungen über das Plasmolyseverhalten von *Vaucheria* hohlgeschliffene Objektträger verwendet.

grobe Behandlung verursacht. Man stelle sich nun z.B. in einem Versuche über Salzwirkung auf die *Spirogyra*-Zellen zweierlei Methoden vor: (1) Einmal werden die *Spirogyra*-Fäden in eine Versuchslösung in einem kleinen Glasgefäß gebracht, nach einer bestimmten Wirkungsdauer mit einer Pinzette oder einer gebogenen Platinöse gefasst, auf den mit Hahnfettstützen versehenen Objektträger samt der Versuchslösung übertragen und sofort nach dem Auflegen des Deckglases unter dem Mikroskop beobachtet. (2) Die andere Methode besteht darin, dass die Pflanzenobjekte direkt in einem Lösungstropfen auf den in schon erwähnter Weise vorbereiteten Objektträger übertragen und nach dem Auflegen des Deckglases der Beobachtung unterworfen werden. Dieselbe Versuchslösung wird bei Anwendung der beiden Methoden recht verschieden wirken. Es spielen sich nämlich bei Anwendung der ersten Methode, neben der bezweckten eigentlichen Beeinflussung, verschiedene schädliche Vorgänge ab, die bei der zweiten gänzlich wegfallen. Solche nachteilige Nebenwirkungen kommen besonders beim Plasmolyseversuch vor, indem die Verminderung der Turgeszenz der Zellen leicht dazu die Gelegenheit bietet, dass die mechanische Wirkung beim Uebertragen den Ausschlag gibt. Trotz der Notwendigkeit der Vermeidung der nachteiligen Methoden kommt es unter den jetzigen Bedingungen oft vor, dass sie je nach dem Untersuchungszweck verwendet werden müssen.

Dunkelfeldbeobachtung der plasmolysierten *Spirogyra*-Zellen

Dass die Plasmaoberfläche der plasmolysierten *Spirogyra*-Zellen nicht den normalen Zustand darstellt, ist ausser Zweifel. Es wäre daher unberechtigt, aus den Untersuchungen über die Eigenschaften des Protoplasmas und über die dort unter solchen abnormen Verhältnissen sich abspielenden Vorgänge auf die Struktur und kolloidchemischen Eigenschaften des normalen Protoplasmas ohne weiteres Schlüsse zu ziehen. Unter diesem Vorbehalt wäre es aber nicht von geringer Bedeutung, wenn das Cytoplasma, besonders dessen Oberfläche, die als die äusserste Schicht des Protoplasten die wichtigste Rolle spielt, mit Hilfe einer natürlichen Mikromanipulation, nämlich durch ein Plasmolyseverfahren untersucht werden würde. Die Dunkelfeldbeobachtung an den plasmolysierten *Spirogyra*-Zellen ist bisher von einigen Autoren, so z.B. HANSTEEN-CRANNER (1922), PRICE (1914), WEIS (1926) u. a. ausgeführt worden.

Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde die Hauptrolle des Plasmolytikums dem Zucker beigemessen. Wenn die Wirkung der Elektrolyten auf die Oberfläche des sich zurückziehenden Cytoplasmas in Betracht gezogen wurde, dann sind diese in sehr geringen Konzentrationen dem Zucker zugesetzt worden, in denen sie allein im normalen Zelleben keine Plasmolyse bewirken würden. Nach dieser „Komplementärmethode“ wurden die Gemische in folgenden Konzentrationsverhältnissen hergestellt:

KCl (0.1 M)	10 ccm	} pH = 5.8
Rohrzucker	0.855 g	

CaCl ₂ (0.75 M)	10 ccm	} pH = 5.8
Rohrzucker	0.855 g	

Die Lösungen sind in diesen Konzentrationen praktisch fast isotonisch und überschreiten die Zellsaftkonzentration nur um ein Geringes. Besonders bemerkenswerte Erscheinungen und Gebilde, die auf der Plasmaoberfläche und im Hohlraum zwischen Membran und Cytoplasma wahrgenommen wurden, sind wie folgt:

1. HECHTSche Fäden. Hierüber wurden mehrfach Untersuchungen angestellt; betreffs der wichtigsten Beobachtungen verweise ich natürlich auf die Arbeiten von HECHT, HANSTEEN-CRANNER und neuerdings besonders von WEIS. Die Fäden bewegen sich lebhaft zitternd, was höchst wahrscheinlich als BROWNSche Bewegung gedeutet werden kann. Wie lange die HECHTSchen Fäden intakt bleiben können, ist von der Natur der Elektrolyten, der Behandlungsweise der Zellen usw. abhängig. Sie zerfallen früher oder später in kleine Stücke oder Körnchen, die noch lange die zitternde Bewegung fortsetzen⁽¹⁾. Der Hohlraum leuchtet unter Umständen gleichmässig milchweiss. Dass diese leuchtende Grundsubstanz aus submikronischen Kolloidteilchen besteht, lässt sich daraus schliessen, dass bald eine Flockung in ihr zum Vorschein kommt. Daneben kann auch eine Flockung der kleinen Teilchen, die durch den Zerfall der HECHTSchen Fäden entstanden sind, beobachtet werden. Beide Flockungen erzeugen gruppenweise silberweiss leuchtende Gebilde, die im ganzen Raum verbreitet vorkommen. Dies geschieht besonders leicht, wenn der Plasmabeleg bei der Plasmolyse durch irgendeine Schädigung zerrissen wird und der Zellsaftinhalt in den Hohlraum heraustritt.

(1) Siehe PRICE (1914).

2. Cytoplasmareste in Gestalt von Teilchen bleiben dicht an der inneren Oberfläche der Zellmembran liegen (Photo 6). Sie bewegen sich bisweilen sehr schwach. Diese Teilchen und die Oberfläche des kontrahierten Plasmas werden jetzt durch hochgradige Dehydratation stark lichtbrechend. Ähnliche dicht an der Zellmembran liegende Teilchen wurden auch von PRICE (1914, S. 618) in den plasmolysierten Zellen bei höherer Einstellung gesehen und ähnlich gedeutet.

3. Aufblähung. Verschiedene Protoplasten, so z.B. Cytoplasma (Photo 7, 8, 9), Chloroplast, Kern⁽¹⁾ u. a. blähen sich auf der Oberfläche örtlich ungleichmässig auf. Die Aufblähung des Cytoplasmas bei *Spirogyra* wurde schon von PRICE (1914) in den mit Glycerin, KNO₃ oder Rohrzucker plasmolysierten Zellen beobachtet und „vesicle“ (Bläschen) genannt. Seine Beschreibung lautet: „thin-walled bladders of protoplasm containing presumably cell sap“. Das Bläschen soll nach ihm aus fein granulöser Schicht bestehen und durch die Fixierung in den Gelzustand übergehen, wobei es opak und heterogen aussieht. Die Beobachtung an den plasmolysierten *Spirogyra*-Zellen lehrt uns, dass bestimmte Partien des Cytoplasmas, und zwar besonders seine Schmalseite, nach aussen aufquellen, wodurch eine Blase gebildet wird. Obwohl die Blase, streng genommen, anfangs nicht mit dem eigentlichen Saftraum kommuniziert, gelangt sie doch bald nach ihrer Entstehung mit diesem in Verbindung. Mit dem Fortschreiten der Aufblähung vergrössert sich nun der plasmolysierte Zellsaftraum, was auf den ersten Blick Deplasmolyse vortäuscht. Beide Erscheinungen unterscheiden sich aber dadurch, dass bei der Aufblähung ein beschränkter Teil des Plasmabelegs besonders stark aufgebläht wird, während bei Deplasmolyse eine gleichmässige Ausdehnung des ganzen Plasmabelegs eintritt, die durch den wiedererlangten relativ höheren osmotischen Druck verursacht wird. Der Plasmabeleg als solcher ist viel dicker und stärker lichtbrechend als der aufgeblähte Plasmateil. Aus dem oben Gesagten lässt sich vermuten, dass die Aufblähung primär durch die Quellung einer oder mehrerer Partien des Plasmabelegs hervorgerufen und dann durch den inneren osmotischen Druck verstärkt wird⁽²⁾. In der Blase kom-

(1) MARTENS u. CHAMBERS (1932) und KÜSTER (1932). Die Aufblähung des Kernes findet auch bei *Spirogyra* bei höherer Acidität statt (Photo 10).

(2) Es ist höchst wahrscheinlich, dass die infolge der Quellung erzeugte dünne Plasmaschicht als semipermeabel funktioniert, wie KÜSTER (1932) bei der Aufblähung des Kernes annimmt.

men Plasma- und Vakuoleneinschlüsse vor und die stark lichtbrechenden Zellteilchen 1 a, die gewöhnlich nur selten im Zellsaftraum gefunden werden, befinden sich in BROWNScher Bewegung. Mit grosser Wahrscheinlichkeit kann man sagen, dass die Aufblähung anfangs eine kolloidale und dann eine osmotische Erscheinung ist, die sich am Cytoplasmabelege abspielt. Es ist aber die Möglichkeit vorhanden, dass sie auch am Chloroplasten in den plasmolysierten Zellen stattfindet (Photo 11). *Spirogyra*-Fäden, deren Zellen schon plasmolysiert waren, wurden in einer Lösung (KCl + Rohrzucker) auf dem Objektträger mit einem Messer zerschnitten. Unter den zerschnittenen Zellen gab es solche, deren kontrahiertes Cytoplasma intakt blieb. In einer solchen Zelle trat an der Schnittfläche ein Teil des Chloroplasten heraus, der eine Aufblähung aufwies. Ob diese Aufblähung in Wirklichkeit auf die Quellung des Chloroplasten zurückzuführen ist, muss noch dahingestellt bleiben. Es wäre auch möglich, dass diese Blase aus dem Rinnenplasma, das noch am Chloroplasten haftete, hervorgekommen ist. Wenn der Chloroplast vom Plasmabeleg losgelöst wird und sich seitwärts gleitend kontrahiert, um sich in einer oder in zwei Massen zu gruppieren, dann ist die Frage nicht mehr leicht zu entscheiden, ob die aus der Chloroplastenmasse hervorstwachsende Blase von cytoplasmatischer Natur sei oder wirklich aus dem Chloroplasten erzeugt werde. Man kann aber wenigstens soviel sagen, dass die Aufblähung absolut unabhängig vom Chloroplasten stattfinden kann. In Photo 12 lässt sich ein kleines Bläschen im Hohlraum wahrnehmen, welches sich isoliert von der Hauptmasse des Protoplasmas und ohne Zusammenhang mit dem Chloroplasten entwickelt haben muss⁽¹⁾.

Das schon Erwähnte in Bezug auf die Vorsichtigkeit bei der Herstellung der Präparate muss hier besonders in Betracht gezogen werden. Um zu zeigen, wie nötig es ist vorsichtig zu arbeiten, wurden die schon auf S. 296 geschilderten zweierlei Präparierungsmethoden angewendet. Aus den Versuchen ist ersichtlich, dass ein bedeutender Unterschied zwischen den mit den zwei verschiedenen Methoden erlangten Resultaten besteht. Beispielshalber werden hier die Ergebnisse eines Versuches mit zwei Versuchslösungen, ($\text{CaCl}_2 +$

(1) Ganz neuerdings ist eine Abhandlung von TIROLD (1933) erschienen, die zu spät in meine Hände gelangt ist, um in der vorliegenden Mitteilung ausführlich berücksichtigt zu werden. Sie beobachtete an plasmolysierten *Vaucheria*-Zellen merkwürdige Plasmolysebilder, die der oben geschilderten Aufblähung ähnlich sind, und fasste sie als Ausschlüpfen der Tonoplaste auf.

Rohrzucker) und (KCl + Rohrzucker), vergleichend mitgeteilt.

Methode 1 mit CaCl_2 . HECHTSche Fäden auffällig. Keine Aufblähung. Häufiges Zerreißen des Plasmabelegs und Zusammenballen des Chloroplasten. Im Hohlraum BROWNSche Bewegung der Teilchen, die aus den Fäden entstehen oder aus dem Zellsaftraum sich ableiten.

Methode 1 mit KCl. Fadenziehen nicht so deutlich wie bei Methode 1 mit CaCl_2 . Aufblähung oft auffällig. Milchweiss leuchtende Trübung im Hohlraum und nachher Aggregation (Flockung).

Methode 2 mit CaCl_2 . Fadenziehen auffällig, besonders an den Ecken. Keine Aufblähung. Weder Trübung noch Aggregation der Teilchen.

Methode 2 mit KCl. Fadenziehen nicht auffällig, keine Aufblähung. Bisweilen milchweiss leuchtende Trübung.

Aus diesen Beobachtungsergebnissen kann man sehen, dass das Fadenziehen besonders auffällig bei Zusatz von CaCl_2 stattfindet und dass die Aufblähung nur bei Gebrauch von KCl, und zwar bei Zusammenwirken von mechanischen Einflüssen, zu bemerken ist. Falls eine derartige mechanische Wirkung als ein Hilfsmittel, das die Salzwirkung verstärkt, betrachtet wird, so wäre es nicht unberechtigt, den zwischen der Wirkungsweise von Ca und K festgestellten Unterschied dahin zu deuten, dass Ca verfestigend, d. h. ent quellend, und K verflüssigend, d. h. quellend, auf die Plasmaoberfläche wirkt. Das steht mit der heute oft vertretenen diesbezüglichen Ansicht in völliger Uebereinstimmung. Wie die milchweisse Trübung und die Aggregation der Teilchen entstehen, ist schwer zu erklären. Da die mechanische Wirkung für ihr Zustandekommen immer unentbehrlich ist, kann man der Salzwirkung in dieser Beziehung nur eine geringe Bedeutung zuschreiben.

Hellfeldbeobachtung der geschädigten, nicht plasmolysierten *Spirogyra*-Zellen

Bevor ich auf die Beobachtung und Erörterung der Salzwirkung eingehe, möchte ich zunächst die oft vorkommenden Deformationen innerhalb der Zelle schildern.

Ueber die durch die Salzwirkung hervorgerufenen Veränderungen der Protoplasten von *Spirogyra* ist bisher wider Erwarten verhältnismässig nur wenig Ausführliches bekannt geworden. LEPESCHKIN (1923) hat die Schädigungsvorgänge verfolgt und sie in vier Phasen

eingeteilt. Im Vergleich mit meinen Beobachtungsergebnissen scheinen diese Phasen bei *Spirogyra* nicht allgemeingültig zu sein, da je nach der Beschaffenheit der Schädigungsursache verschiedene abnorme Erscheinungen zustandekommen.

Bei den Untersuchungen über die Wirkung von Salzen auf das Cytoplasma ist ohne weiteres wichtig, eingehende Beobachtungen am Cytoplasma selbst auszuführen. Es kommt hier aber möglicherweise noch eine andere Methode in Betracht, die in der indirekten Beurteilung der Veränderungen des kolloidalen Zustands des Cytoplasmas und dessen Permeabilität für einwirkende Substanzen mittels von Beobachtungen der Chloroplastenbewegung und -struktur besteht. Dass der Chloroplast von *Spirogyra* unter abnormen Zuständen der Zelle sich verkürzt, seitlich verschiebt und vom Plasmabeleg trennt, ist schon früher von NAEGELI (1855)⁽¹⁾ und DE VRIES (1889) beobachtet und als „aktive Chloroplastenkontraktion“ bezeichnet worden (Photo 13, 14, 15). SCARTH (1924 a) hat zweierlei Chloroplastenbewegung wahrgenommen, nämlich:

1. vitale Bewegung.
2. disintegrative Bewegung.

Unter vitaler Bewegung versteht er eine solche, bei der der Chloroplast sich vom Plasmabeleg trennt und nach innen zu bewegt. Der Plasmabeleg und der getrennte Chloroplast werden mit feinen Plasmafäden miteinander verbunden, was auch von DE VRIES gefunden wurde. Als eine Modifikation ist auch eine andere Bewegung bekannt, bei der der Chloroplast noch wandständig ist, aber von beiden Schmalseiten her zur Bildung einer Masse zusammengeschoben wird. Bei der disintegrativen Bewegung soll der Chloroplast nicht nur sich bewegen, sondern in weitere abnorme irreversible Zustände eintreten. Ganz neuerdings hat GICKLHORN (1933) bei Protoplasmauntersuchungen an *Spirogyra* aufs neue auf die Chloroplastenkontraktion aufmerksam gemacht. Er hat diese Erscheinung immer in *Spirogyra*-Zellen, die eine Zeitlang in dunstgesättigtem Raum aufbewahrt und turgorlos gemacht wurden, eintreten gesehen. Nach GICKLHORN soll diese Kontraktion zustande kommen, dass das Cytoplasma quillt und leichtflüssiger wird und der Chloroplast infolge der Zustandsänderung des Cytoplasmas in ein neues Medium übertragen wird, „mit welchem er sich auf Grund der flüssigen Aggregatzustand

(1) Zitiert nach GICKLHORN (1933).

beherrschenden Gesetze ins Gleichgewicht bringt“. Die Ausglei chung der bis dahin durch verschiedene Ursachen bestehenden Spannungsunterschiede des Chloroplasten soll daher seine Kontraktion bedingen.

Darauf, dass die Trennungerscheinung des Chloroplasten vom Plasmabeleg, die aber auch ohne *aktive* Kontraktion auftreten kann, für ein nekrobiotisches Symptom gehalten werden darf, habe ich schon (1932) aufmerksam gemacht. Um mit meinen Beobachtungsergebnissen und der Ansicht darüber bekannt zu machen, möchte ich einige Zeilen aus der betreffenden Arbeit wiederholen:

„Zunächst wird die Plasmaviskosität durch die Quellung erniedrigt, das Cytoplasma erhebt sich stark an der Stelle, wo die Chlorophyllbänder anhaften, und die letzteren zeigen das Bestreben, an diesen schwachen Punkten sich vom ersten zu trennen. Bald nachher lösen sich die Chlorophyllbänder vom Plasmanschlauch ab, was das Kennzeichnen des ersten Stadiums der Schädigung bedeutet. Das Cytoplasma quillt weiter nach dem Inneren des Zellraumes, bis im extremen Falle der ganze Zellraum vom gequollenen Plasma erfüllt ist“ (S. 135).

Seit der Veröffentlichung dieser Befunde habe ich in den Versuchen an *Spirogyra* diese Erscheinung immer als das am frühesten auftretende Symptom der verflüssigenden Schädigung betrachtet, und heute noch möchte ich sie mit GICKLHORN als „ein sehr feines Reagens“ auffassen. Abgesehen von den Kolloidzuständen des Cytoplasmas und des Chloroplasten, ist die Leichtigkeit der Trennung des Chloroplasten in einem gewissen Grad von seiner Spannung abhängig, wie GICKLHORN darauf hingewiesen hat. Das Längenwachstum des Chloroplasten stimmt nicht immer mit demjenigen der Zellmembran bzw. des Plasmabelegs überein. Wenn das Wachstum des letzteren überwiegt, so wird der Chloroplast übermässig gespannt und leicht trennbar. Das ist der Fall z. B. bei etiolierten *Spirogyra*-Fäden. Dieses Verhalten muss besonders in Betracht gezogen werden, wenn die Trennung des Chloroplasten als Kriterium der Plasmaeigenschaften oder -schädigung gelten soll. Die Pflanzenmaterialien müssen daher in den Experimenten immer aus ein und derselben Kulturmasse in dieser Beziehung entnommen werden, und man hat kein Recht, die mit verschiedenen Materialien erhaltenen Ergebnisse miteinander zu vergleichen.

Was die abnormen Strukturveränderungen des Chloroplasten betrifft, so lässt sich am auffälligsten seine Quellung bemerken (Photo 16, 17). Die Quellung findet statt vor oder gleich nach seiner Trennung und schreitet unter Umständen soweit fort, dass der Chloro-

plast vakuolisiert wird (Photo 16), in Kügelchen zerfällt⁽¹⁾, dicke cylindrische Gestalt annimmt oder fast den ganzen Zellraum ausfüllt. Die Koagulation findet auch im Chloroplasten statt, entweder direkt oder nach vorheriger Quellung. Im ersten Fall verwandelt sich der Chloroplast in einen feineren Faden und im zweiten kommt eine Art tropfigen Zerfalls zustande (Photo 18). Die Bedingungen, unter denen die Koagulation des Chloroplasten eintritt, rufen oft auch diejenige des Cytoplasmas hervor. Dann führen die Zellteilchen die BROWNSche Bewegung sehr schwach aus oder hören vollständig auf sich zu bewegen. Der Plasmabeleg sieht in der Dunkelfeldbeleuchtung stark lichtbrechend aus.

Obwohl ein Teil meiner früheren Resultate im vorhergehenden kurz referiert wurde, möchte ich mich mit der betreffenden Erscheinung vom anderen Gesichtspunkte aus aufs neue beschäftigen. Man kann oft die Verflüssigung des Cytoplasmas auftreten sehen, wenn abnormes Leben in der Zelle beginnt. Besonders das Rinnenplasma fängt an sich zu erheben⁽²⁾ und der Chloroplast trennt sich vom Cytoplasmabeleg (Photo 13*, 19). Bei weiterem Fortschreiten der Trennung werden grobe oder feine Plasmafäden zwischen beiden

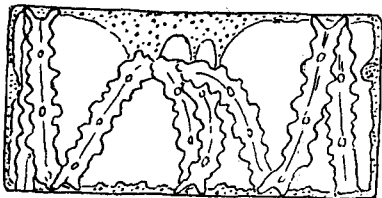


Fig. 7. Chloroplastentrennung und Beginn der Plasmaquellung.

gespannt, welche nachher mit anderen Plasmapartien zusammen quellen, und das Ganze füllt bisweilen einen grossen Teil des Zellraums aus (Photo 14, 16*, Fig. 7). Diese Erscheinung mag auch als Plasmoschise oder Vakuolenkontraktion aufgefasst werden. Wenn ich aber in der früheren Arbeit gesagt habe: „—— bis im ex-

tremen Falle der ganze Zellraum vom gequollenen Plasma erfüllt ist“, so gilt hier die gleiche Erklärung wie oben. LEPESCHKIN (1927 b) hat diesen Satz von mir kritisiert und gesagt: „Dass aber das Protoplasma dieser Alge nach Sakamura so stark „quillt“, dass es „bis im extremen Falle“ den ganzen Zellraum erfüllt, ist sicher ein Missverständnis. Die Chloroplasten verschieben sich gegen die Zellenmitte nicht deshalb, weil das Protoplasma die Zelle erfüllt, sondern sie tun das aktiv infolge der verstärkten Oberflächenspan-

(1) Tropfiger Zerfall (GICKLHORN 1933 a, Fig. 1 c).

(2) Diese Plasmaanhäufung entspricht vielleicht der „Falte des Tonoplasten“ oder „Körneranhäufung im Kreise der Zelle“ nach DE VRIES (1889).

nung; ———“ (S. 220). Bei dieser Gelegenheit möchte ich ausdrücklich erklären, dass ich seinerzeit nie an eine Verschiebungsleistung des gequollenen Cytoplasmas dem Chloroplasten gegenüber gedacht, sondern dessen *Bestreben* sich vom Plasmabeleg zu trennen richtig erkannt habe.

Das gequollene und sich ausdehnende Cytoplasma ist nun verdünnt, und seine Viskosität ist deshalb stark vermindert. Die BROWNSche Bewegung verschiedener Zellteilchen ist sehr auffällig. Durch die Verflüssigung des Cytoplasmas kommen andere abnorme Zustände zum Vorschein. Wenn die Plasmaoberfläche flüssiger wird, löst sich der Plasmabeleg unter Kontraktion leicht von der Membran los (Pseudoplasmyse) (Photo 19, 20), wie bei der echten Plasmolyse. Dies trifft ein, auch wenn die Aussenflüssigkeit hypotonisch ist, aber es ist schwer zu entscheiden, ob Wasser aus dem Zellsaft-raum austritt. Dass Wasser nicht osmotisch entzogen, sondern durch den Kontraktionsdruck zusammen mit den gelösten Stoffen aus dem Saft-raum hydrostatisch herausgepresst wird, ist an solch abnormer Plasmaoberfläche sehr wahrscheinlich. Diese Pseudoplasmyse kommt oft besonders durch die Wirkung von KCl zustande. Bei der Hellfeldbeobachtung an abnormen Zellen kommt oft ein Bild zustande, das den Eindruck erweckt, als ob gequollenes Cytoplasma eine zusammengeschrumpfte Chloroplastenmasse umgäbe und fast den ganzen Zellraum erfüllte. In der Tatsache ist das aber nicht der Fall. Die im Zellraum ausgebreitete Plasmamasse ist nichts anderes als Plasma- und Zellsaftinhalt, die infolge des Zerreißens des Plasmabelegs bei plasmolytischer oder anderer abnormer Plasmakontraktion in den Hohlraum zwischen Zellmembran und Plasmabeleg heraustreten. Dies kann man mittels der Dunkelfeldbeobachtung bestätigen (Fig. 8). Dasselbe Verhältnis ist auch bei der Aufblähung der plasmolysierten Plasmaoberfläche bemerkbar. Während

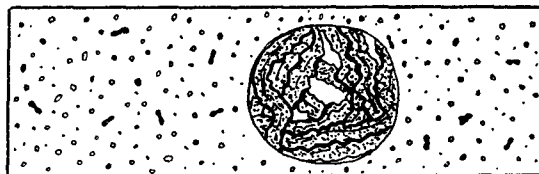


Fig. 8. Pseudoplasmyse und Zerstreuung der Zellteilchen im Hohlraum. Dunkelfeld. Der Grund ist schwarz, die schwarzen Teile sind glänzend weiss zu denken.

die Grundsubstanz der Blase bei der Aufblähung sich im Dunkelfeld als sehr hyalin und von dünnflüssiger Natur erweist, sieht sie im Hellfeld aus, als ob sie aus teilchenhaltigem dichtem Plasmakolloid bestünde.

Die Plasmaschädigungen, die durch die äusseren Faktoren im allgemeinen hervorgerufen werden, lassen sich etwa in zwei Kategorien⁽¹⁾ einteilen:

1. Direkte Koagulation. Sie tritt ein, wenn eine akute Wirkung statthat, so z. B. in hoher Temperatur oder bei der Wirkung der Schwermetallsalze und Säuren in hoher Konzentration. Die Fixierungsmethoden von Zellen und Geweben bestehen in dieser akuten Wirkung.

2. Anfangs Quellung und nachher Koagulation. Die Wirkung geht langsam vor sich, z. B. die Wirkung verschiedener Salzlösungen in mässiger oder schwacher Konzentration. Es ist sehr bemerkenswert, dass die Schädigung der Protoplasten zuerst gewöhnlich mit der Plasmaquellung beginnt. Die Ansicht, dass der Zelltod mit der Plasmakoagulation in inniger Beziehung stehe, lässt sich nicht stets in der dem Tod vorhergehend Schädigungsphase geltend machen.

Salzwirkung auf *Spirogyra*-Zellen und Antagonismus

LEPESCHKIN (1927 a) hat bei *Spirogyra neglecta* beobachtet, dass die Zellen durch verschiedene Einzelsalze geschädigt und schliesslich getötet werden. Aus seinen Beobachtungsergebnissen hat er den Schluss gezogen, dass Neutralsalze dadurch auf das Protoplasma schädlich wirken, weil seine disperse Phase koaguliert und seine Grundstoffe zersetzt werden. Die Wasseraufnahme seitens des Protoplasmas (Quellung) soll daher nur eine Erscheinung sein, die durch die primär stattgefundene Koagulation hervorgerufen wird. Ferner hat er bei den Untersuchungen über die Salzwirkung mitgeteilt, dass in einem Gemisch ($KCl + CaCl_2$) *Spirogyra* ebenso stark oder noch stärker geschädigt wird als in einer Einzelsalzlösung von KNO_3 . Ein Antagonismus zwischen K und Ca ist in seinem Versuche nicht erkennbar. Dass das Ca-Salz gegen die schädliche Wirkung der höheren Wasserstoffionen-Konzentration bei *Spirogyra* antagonistisch wirkt, habe ich schon früher (1922) festgestellt. Auch dieselbe anta-

(1) KLEMM (1895) hat die Desorganisationserscheinungen innerhalb der Zelle in zwei Kategorien eingeteilt:

1. Granulation (Fällungserscheinungen)
2. Vakuolisierung (Lösungserscheinungen).

gonistische Wirkung von CaCl_2 gegen Alkalichloride habe ich vor etwa zehn Jahren an demselben Material gefunden, dieses Ergebnis ist aber bis jetzt unveröffentlicht geblieben. Soweit ich mich aber erinnern kann, ist bisher von anderer Seite keine diesbezügliche ausführliche Angabe bekannt geworden. Daher sehe ich mich veranlasst, einige Beispiele zur Illustrierung dieser Tatsache aus dem Versuchsprotokoll zu geben.

Fast gleiche Mengen von *Spirogyra*-Fäden, welche schon in Hungerzustand gebracht waren, wurden mit einer gebogenen Platinoöse herausgenommen. Nach Trocknung mit Filtrierpapier wurden sie im umdestillierten Wasser wiederholt ausgewaschen. Nach dieser Behandlung kamen die Versuchspflanzen in die Salzlösung und wurden ins Dunkel gestellt. Bei der mikroskopischen Präparierung wurden Hahnfettstützen verwendet. Die Beobachtung geschah entweder im Hell- oder Dunkelfeld.

In den Tabellen der folgenden Versuche möchte ich der Einfachheit halber die verschiedenen Abnormitäten des Protoplasmas mit nachstehenden Zeichen veranschaulichen:

- T —Chloroplastentrennung (Fig. 13, 14, 15)
 P' —Plasmaquellung (Fig. 15, 16)
 P'' —Plasmakoagulation
 P+ —Plasmakoagulation nach der Quellung
 C' —Chloroplastenquellung (Fig. 16, 17)
 C'' —Chloroplastenkoagulation
 C+ —Chloroplastenkoagulation nach der Quellung
 C° —Tropfiger Zerfall des Chloroplasten (Fig. 18)
 Z —Zusammendrängen des Chloroplasten nach dem Zerreißen des Plasma-
 belegs (Fig. 4)
 A —Aufblähung des Cytoplasmas (Fig. 7, 8, 9, 11, 12)
 L —Pseudoplasmolyse (Fig. 19, 20)
 + —gestorben

Versuch 1.

24/V 1929. 0.1 mol (15 ccm), 14°C.

	pH	nach 1 Stunde	nach 3 Stunden	nach 5 Stunden
KCl	5.6	normal, Z, L, C', P', T.	normal, Z, L, + normal, T, C', C°, P', P''	normal, Z, L, + normal, T, C', C°, P', +
NaCl	5.6	normal, T.		
LiCl	6.0	normal, T.	normal, T, C', P', +	normal, T, +
NH ₄ Cl	5.4	normal, T.	normal, T, C+	normal, T, +

Versuch 2.

8/III 1929. Lösung 15 ccm, 19°C.

	Konzentration	pH	nach 5 Stunden
KCl	0.1 mol	5.8	normal, Z, L, A, C', C ⁺ , +
NaCl	0.1 mol	5.6	normal, T, P', P'', C', C ^o , Z, +
LiCl	0.1 mol	5.8	normal, Z, A, C', C ⁺ , +
NH ₄ Cl	0.1 mol	5.4	Z, C', C ⁺ , normal, +
MgCl ₂	0.075 mol	5.8	Z, T, L, +
CaCl ₂	0.075 mol	5.8	normal
CaCl ₂	0.1 mol	5.8	normal, Plasmolyse, T

Aus den obigen Ergebnissen kann man ersehen, dass die Alkalisalze und MgCl₂ im allgemeinen anfangs mehr oder weniger stark verflüssigend auf den Protoplasten wirken. Im Gegensatz zu anderen Alkalichloriden wirkt KCl in dieser Beziehung besonders stark auf die Plasmaoberfläche, was leicht die Pseudoplasmostolyse, d. h. das Lösen des Plasmabelegs von der Zellemembran hervorruft, bevor die Chloroplastentrennung beginnt. Solche schädliche Wirkung verursacht ferner verschiedene Abnormitäten, welche die Zelle schliesslich zum Tod führen. Die Ergebnisse liefern also keine Stütze für die Behauptung von LEPESCHKIN: anfangs Koagulation und nachher Quellung. Bei NaCl tritt aber nicht selten eine Verfestigung des Cytoplasmas ein und gleichzeitig damit kommt die tropfige Zerlegung des Chloroplasten zum Vorschein. Diese Abnormitäten werden auch in verdünnten Lösungen dieses Salzes beobachtet. CaCl₂ (0.075 mol) nimmt eine besondere Stellung ein, und die Pflanzen bleiben in der Versuchslösung dieses Salzes länger intakt, was schon von mir (1922) konstatiert worden ist. Auch in kleinerer Konzentration ist dieses Salz natürlich nicht giftig. Eine 0.1 molare Konzentration von CaCl₂ entspricht fast der Plasmolyse-Grenzkonzentration. In solch höherer Konzentration wirkt CaCl₂ auf das Cytoplasma zuweilen giftig, weil die durch dieses Salz verfestigte Plasmaoberfläche bei der Plasmolyse und sogar schon bei einer schwachen Turgorverminderung mechanisch mehr oder weniger stark geschädigt wird⁽¹⁾.

LEPESCHKIN (1927 a) hat aus seinen Versuchen über die antagonistische Wirkung von CaCl₂ gegen andere Salze den Schluss gezogen,

(1) Scarth (1927 a), WEBER (1931).

„dass die Giftigkeit von KNO_3 und KJ bei *Spirogyra* durch Zugabe einer geringen Menge von CaCl_2 , das selbst nur wenig giftig oder ungiftig ist, merklich verstärkt wird“. Um die Frage nach der antagonistischen Wirkung zu beantworten, wurde folgender Versuch angestellt.

Versuch 3.

4/VIII 1928. Lösung 15 ccm, 20°C .

	Konzentration	pH	nach 6 Stunden	nach 22 Stunden
CaCl_2	0.075 mol	5.8	normal	normal
KCl	0.1 mol	5.6	C', L, T.	C', P'', Z, A, +
KCl	0.05 mol	5.8	C', L, T.	C', L, Z, P'', +
KCl	(0.1 mol)	9) 1)	5.6	normal
CaCl_2	(0.075 mol)			
KCl	(0.1 mol)	9.75) 0.25)	5.6	normal
CaCl_2	(0.075 mol)			

Die Ergebnisse sprechen nicht zugunsten der Ansicht von LEPESCHKIN, der allerdings KNO_3 anstatt KCl benützt hat. Es unterliegt keinem Zweifel, dass CaCl_2 der Giftigkeit von KCl antagonistisch entgegenwirken kann, und zwar schon etwa im Verhältnis: $\text{Ca} : \text{K} = 1 : 52$.

Obwohl bei den vorliegenden Untersuchungen auf den Mechanismus der Salzwirkung auf das Protoplasma nicht näher eingegangen wird, so möchte ich einige Bemerkungen darüber machen. Selbst wenn das Protoplasma von kolloidchemischem Gesichtspunkte aus betrachtet wird, so wäre es heute nicht mehr zulässig, das ganze Protoplasma einheitlich zu behandeln, wie eine Gelatinkolloidmasse im Reagenzglas. In der Kolloidchemie wird z. B. einer Kolloids substanz im Reagenzglas eine Salzlösung zugesetzt und die gleichmässig im Kolloid erfolgte Zustandsänderung untersucht. Es ist selbstverständlich richtig, die in dieser Weise erworbenen kolloidchemischen Kenntnisse in das Gebiet der Protoplasmaforschung einzuführen. Aber bei der Wirkung der Salze auf das Protoplasma sind die Sachverhältnisse noch viel komplizierter, da diese sich je nach der Partie oder den Elementen des Protoplasmas verschieden gestaltet. Die Salz-

wirkungen, die oben mitgeteilt wurden, wären dahin zu deuten, dass ihnen zweierlei kolloidchemische Vorgänge zugrunde liegen; einmal die Zustandsänderung der Plasmaoberfläche und dann diejenige der inneren Protoplasten⁽¹⁾.

Die Alkalisalze wirken im allgemeinen so verflüssigend auf die Plasmaoberfläche, dass sie leicht durch diese eindringen können. Die schnell eingedrungenen Salze bzw. Ionen wirken jetzt innerhalb des Plasmas schädlich, anfangs meistens quellend⁽²⁾. Gegen CaCl_2 reagiert die Plasmaoberfläche ganz anders; die durch dieses Salz oder Ca-Ionen verfestigte Oberfläche verhindert die wirkende Substanz selbst am Eindringen und gibt ihr keine Gelegenheit auf das Innenplasma schädlich zu wirken. Die antagonistische Wirkung von CaCl_2 gegen KCl wäre vielleicht ebenso zu deuten. Die Plasmaoberfläche, die durch CaCl_2 für dieses selbst schwer permeabel gemacht wird, fungiert auf gleiche Weise auch anderen Salzen gegenüber. Die antagonistische Wirkung von CaCl_2 beruht daher darauf, dass das Eindringen der giftigen Salze oder Ionen in die Zelle verhindert wird, aber nicht darauf, dass CaCl_2 nach dem Durchdringen der giftig verflüssigenden Wirkung von KCl innerhalb der Zelle gegenübersteht.

Salzwirkung auf *Spirogyra*-Zellen in höherer Konzentration

Die Salzwirkung in höherer Konzentration lässt sich von zwei Gesichtspunkten aus in Erwägung ziehen:

1. Die chemische oder spezifische physikalisch-chemische Wirkung des Salzes oder Ions.
2. Die osmotische Wirkung, die besonders in hypertonen Konzentrationen ausgeprägt ist.

Die *Spirogyra*-Fäden wurden direkt in die Versuchslösung auf den mit Hahnfettstützen versehenen Objektträger gebracht und mit oder ohne Deckglas der Hell- oder Dunkelfeldbeobachtung unterworfen.

KCl (0.2 mol) 19 VII 1932.

(1) Wir verdanken diese Auffassung den Arbeiten von Chambers u. REZNIKOFF (1926), REZNIKOFF (1928), CHAMBERS u. HOWLAND (1930), SPEK (1928).

(2) NH_4Cl wirkt verhältnismässig stärker giftig auf das Innenplasma als andere Alkalisalze, was darauf beruhen dürfte, dass die durch Hydrolyse entstandenen NH_4OH -Moleküle oder NH_3 leicht in die Zelle eindringen können.

Konvexpasmolyse häufig. Chloroplast gleitet seitwärts und bildet eine oder zwei Massen. Diese Chloroplastenklumpen sind oft vom Cytoplasmaeinschluss ausgeschlossen. Ob sie aber von einer dünnen fast unsichtbaren Plasmaschicht umschlossen sind, ist schwer zu beantworten. Bei hoher Einstellung an der Plasmapartie, die nach der Gleitbewegung des Chloroplasten von diesem freigegeben ist, wird die Bildung von zahlreichen Bläschen festgestellt (Photo 21, 22, Fig. 9). Bei näherer Beobachtung kann man konstatieren, dass diese aus den Chloroplastenklumpen oder aus ihrer Nähe herauskommen und nacheinander nach dem freien Raum ver-

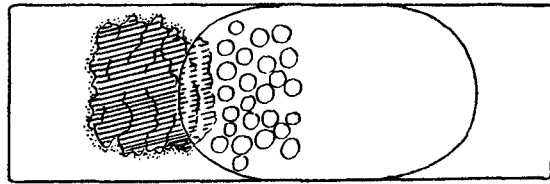


Fig. 9. Beginn der Bläschenbildung in der Nähe des Chloroplasten-Klumpen. Bläschen wandern nach dem freien Raum.

schoben werden. Sie vergrößern sich allmählich und führen schwache BROWNSche Bewegung aus. Unter Polarisationsmikroskop zeigen sie keine Doppelbrechung. Man kann nicht sicher entscheiden, von welcher Natur sie sind und aus welchem Teil des Protoplasmas sie entstehen. Aus der Tatsache, dass sie aus den Chloroplastenklumpen oder deren Nähe heraustreten, wäre die Annahme nicht unwahrscheinlich, dass die Entmischung des durch die Chloroplastengleitbewegung zusammengeschobenen Cytoplasmas oder die des Chloroplasten selbst dabei eine grosse Rolle spielen. Es wäre auch möglich, dass die Plasmaprotuberanzen, welche von GICKLHORN (1932) in den plasmolysierten *Allium*-Zellen untersucht wurden, mit diesen Bläschen bei *Spirogyra* in irgendeiner Beziehung stehen. GICKLHORN ist der Ansicht, dass die Protuberanzen durch Entmischung oder Verflüssigung des Protoplasmas entstehen. Es ist auch möglich, dass diese Bläschen durch Quellung aus den Chondriosomen oder bestimmten Mikrosomen entstehen, weil sehr ähnliche Gebilde von GUILLIERMOND (1920)⁽¹⁾ im Blumenblatt von *Tulipa* gefunden wur-

(1) Zitiert nach „Traité de Cytologie végétale“. Paris, 1933, Fig. 86, S. 155.

den, der ihre Entstehung auf die Quellung der Chondriosomen zurückführt. In einer Saponinlösung⁽¹⁾ sind die Bläschen leicht löslich, wobei die Zellteilchen bewegungslos zurückbleiben. In einer Alkoholösung⁽²⁾ lassen sich die Bläschen ebenso leicht lösen, wie in der Saponinlösung, während sie in einer hypertonischen Rohrzuckerlösung unlöslich sind. Da es schon bekannt ist, dass Saponin auf die Oberflächenspannung des Protoplasmas erniedrigend wirkt, so wäre es nicht unmöglich, dass die Substanz der Bläschen an der Bildung der Plasmaoberfläche oder des Tonoplasten teilnimmt und etwa von Lipoidnatur ist.

KCl (0.3 mol)

Konvexplasmolyse häufig. Zusammendrängen des Chloroplasten nach dem Zerreißen des Plasmabelegs. Zerstreuung der schwach lichtbrechenden Teilstücke der Plasmaoberfläche und der Zellteilchen im Hohlraum.

KCl (0.4 mol und 0.5 mol)

Das plasmolytische Loslösen des Plasmabelegs von der Zellmembran geht schwer. Ausgeprägte HECHTSche Fäden, welche bald nachher zerfallen. Die Rinnenspur ist deutlich zu sehen.

NaCl (0.2 mol)

Konvexplasmolyse. Im Gegensatz zu KCl (0.2 mol) keine Bläschenbildung nach dem Abgleiten des Chloroplasten.

NaCl (0.3 mol)

Konvexplasmolyse. Zusammendrängen des Chloroplasten nach dem Zerreißen des Plasmabelegs. Zerstreuung der Teilstücke des Cytoplasmas und der Zellteilchen im Hohlraum. HECHTSche Fäden.

NaCl (0.5 mol)

Im grossen und ganzen wie bei KCl (0.5 mol).

CaCl₂ (0.1 mol)

Schwache Plasmolyse, sonst normal.

(1) { Saponin wenig
 { KCl (0.2 mol) 10 ccm

(2) { Alkohol 5 ccm
 { KCl (0.2 mol) 45 ccm

CaCl_2 (0.2 mol)

Anfangs eckige Plasmolyse, und bald nachher Konvexpasmolyse. Die plasmolysierten Zellen bleiben ziemlich lang in diesem sonst ungeschädigten Zustand. Keine Bläschen. Starkes HECHTsches Fadenziehen. Zerlegte Fäden bewegen sich lebhaft, noch am Plasmakörper haftend. Schwache Zerstreuung der Teilstücke des Cytoplasmas und der Zellteilchen im Hohlraum.

 CaCl_2 (0.5 mol)

Eckige oder Krampfplasmolyse. Der Cytoplasmabeleg ist koaguliert und stark lichtbrechend im Dunkelfeld. Das Fadenziehen ist nicht mehr nachweisbar. Allgemeine Tendenz zur Verfestigung der ganzen Protoplasten ist zu bemerken. In der CaCl_2 -Lösung ist also kein Auftreten von Bläschen zu sehen.

Ueerblicken wir die oben mitgeteilten Beobachtungsergebnisse, so bemerken wir, dass KCl und CaCl_2 auch in hypertotonischer Lösung die Neigung haben, verflüssigend bzw. verfestigend auf die plasmolysierte Plasmaoberfläche zu wirken, während NaCl in seiner Wirkungsweise etwa die Mitte zwischen beiden einnimmt, wobei es oft das Protoplasma teilweise verfestigt. Selbst KCl wirkt verfestigend auf das Protoplasma in höherer Konzentration (0.5 mol).

Die Ergebnisse der obigen Versuche über die Salzwirkung sind nur anhangsweise besprochen. Andere experimentelle Studien mit *Spirogyra* sollen in weiteren Arbeiten ausführlich mitgeteilt werden.

Zusammenfassung

1. Verschiedene körnige Zellteilchen in den *Spirogyra*-Zellen wurden im Hell- und Dunkelfeld beobachtet und nach ihren optischen Eigenschaften gruppiert.

2. Besondere Aufmerksamkeit wurde auf die Verhältnisse gerichtet, unter denen der Chloroplast vom Cytoplasma erfasst ist. Der Chloroplast ist in normalen Zellen tief eingebuchtet und ragt kielartig in den Zellsaftraum hinein. Dadurch entsteht die „Chloroplastenrinne“. Die Rinne ist mit Cytoplasma gefüllt, das einer besonders eingehenden Beobachtung unterzogen wurde.

3. Die notwendigen Vorsichtsmassregeln bei der Herstellung der mikroskopischen Präparate bei der Lebendbeobachtung an *Spirogyra* sind eingehend geschildert.

4. An plasmolysierten Zellen wurden Dunkelfeldbeobachtungen ausgeführt. HECHTsche Fäden, Cytoplasmarestes auf der inneren Oberfläche der Zellmembran, Aufblähung der Plasmaoberfläche, Aggregation der Teilchen im Hohlraum zwischen Membran und Cytoplasma wurden besonders in Betracht gezogen.

5. Verschiedene Schädigungen in den nicht plasmolysierten Zellen sind besprochen. Unter Verwendung dieser Schädigungsmerkmale ist die Wirkung von Salzen auf *Spirogyra*-Zellen diskutiert. Alkalisalze zeigen im allgemeinen die Tendenz, auf das Cytoplasma, besonders auf dessen Oberfläche, verflüssigend und giftig zu wirken. Im Gegensatz dazu übt CaCl_2 eine verfestigende und keine giftige Wirkung auf das Cytoplasma aus. Die antagonistische Wirkung dieses Salzes gegen Kaliumsalze wurde einwandfrei bewiesen.

6. Es sind die Zustände des Cytoplasmas in Zellen geschildert, die durch verschiedene hypertonische Salzlösungen plasmolysiert wurden.

Literaturverzeichnis

- CHAMBERS, R. und REZNIKOFF, P. (1926): Micrurgical studies in cell physiology. I. The action of the chlorides of Na, K, Ca and Mg on the protoplasm of *Amoeba proteus*. Journ. Gen. Physiol., **8**.
- CHAMBERS, R. und HOWLAND, R. B. (1930): Micrurgical studies in cell physiology. VII. The action of chlorides of Na, K, Ca and Mg on vacuolated protoplasm. Protoplasma, **11**.
- DE VRIES, H. (1899): Ueber die Contraction der Chlorophyllbänder bei *Spirogyra*. Ber. d. d. Bot. Ges., **7**.
- GICKLHORN, J. (1932): Intracelluläre Myelinfiguren und ähnliche Bildungen bei der reversiblen Entmischung des Protoplasmas. Protoplasma, **15**.
- (1933): Ueber aktive Chloroplasten-Kontraktion bei *Spirogyra* und den Aggregatzustand der Spiralbänder. Protoplasma, **17**.
- HANSTEEN-CRANNER, B. (1922): Zur Biochemie und Physiologie der Grenzsichten lebender Pflanzenzellen. Meldinger fra Norges Landbrukhoiskole, **2**.
- HECHT, K. (1912): Studien über den Vorgang der Plasmolyse. COHNS Beitr. z. Biol. Pfl., **11**.

- KLEMM, P. (1895): Desorganisationserscheinungen der Zelle. Jahrb. f. wiss. Bot., **28**.
- KÜSTER, E. (1932): Ueber die Bildung semipermeabler Kernmembran. Ber. d. d. Bot. Ges., **50**.
- LAPICQUE, L. (1922): Pailletes scintillantes dans la protoplasme des Spirogyres. C. R. Soc. Biol.
- LEPESCHKIN, W. (1932): The constancy of the living substance. Studies from the Plant Physiological Laboratory of Charles Univ. Prague, **1**.
- (1927 a): Ueber den Zusammenhang zwischen mechanischen und chemischen Schädigungen des Protoplasmas und die Wirkungsart einiger Schützstoffe. Protoplasma, **2**.
- (1927 b): Mechanische Koagulation der lebenden Materie und Analogie zwischen Grundstoffen derselben und Explosivstoffen. Arch. f. exp. Zellforsch., **4**.
- LLOYD, F. E. (1926): Maturation and Conjugation in *Spirogyra longata*. Transact. R. Canad. Inst. Toronto, **15**.
- MANGENOT, G. (1930): Données morphologiques sur la matière vivante. Paris.
- MARTENS, P. und CHAMBERS, R. (1932): Etudes de microdissection. V. Les poiles staminales de *Tradescantia*. La Cellule, **41**.
- MEYER, A. (1920): Morphologische und physiologische Analyse der Zelle der Pflanzen und Tiere. Jena.
- PRICE, S. R. (1914): Some studies on the structure of the plant-cell by the method of dark-ground illumination. Ann. Bot., **28**.
- REZNIKOFF, P. (1928): Micrurgical studies in cell physiology. V. The antagonism of cations in their actions on the protoplasm of *Amoeba Buxia*. Journ. Gen. Physiol., **11**.
- SAKAMURA, T. (1922): Ueber die Selbstvergiftung der Spirogyren im destillierten Wasser. Bot. Mag. (Tokyo), **36**.
- SCARTH, G. W. (1924 a): Colloidal changes associated with protoplasmic contraction. Quart. Journ. exper. Physiol., **14**.
- (1924 b): The action of cations on the contraction and viscosity of protoplasm in *Spirogyra*. Quart. Journ. exper. Physiol., **14**.
- (1927 a): The influence of external osmotic pressure and of disturbance of the cell surface on the permeability of *Spirogyra* for acid dyes. Protoplasma, **1**.
- (1927 b): The structure organisation of plant protoplasm in the light of micrurgy. Protoplasma, **2**.
- SPEK, J. (1928): Studien an zerschnittenen Zellen. Protoplasma, **4**.
- TIROLD, M. (1933): Untersuchungen über das Plasmolyseverhalten von *Vaucheria*. Protoplasma, **18**.

WEBER, FR. (1931): Plasmolyse-Resistenz und -Permeabilität bei Narkose. Protoplasma, **14**.

WEIS, A. (1926): Beiträge zur Kenntnis der Plasmahaut. Planta, **1**.

Figurenerklärung der Tafel XIV und XV

Photo 1. Normale Zelle von *Spirogyra*.

Photo 2. Verteilung der Zellteilchen (wahrscheinlich Mikrosomen) im Cytoplasma. Mit Neutralrot gefärbt.

Photo 3. Mit Neutralrot gefärbte Zellen. Mikrosomen des Rinnenplasmas sind auffällig.

Photo 4. Dunkelfeld. Durch starke Schädigung erzeugter Chloroplastenklumpen. Zerstreuung und Aggregation der Plasmareste und Zellteilchen im Hohlraum zwischen Membran und Plasmamasse.

Photo 5. Gleich Photo 4. Ausserdem Aufblähung.

Photo 6. Dunkelfeld. Cytoplasmareste in Gestalt von Teilchen auf der inneren Oberfläche der Zellmembran.

Photo 7 u. 8. Aufblähung.

Photo 9. Dunkelfeld. Aufblähung.

Photo 10. Aufblähung des Kernes. Die Zelle wurde mit 0.01 n Essigsäure behandelt.

Photo 11. Dunkelfeld. Aus einer zerschnittenen Zelle tritt ein Teil des Chloroplasten heraus; an dieser Stelle findet die Aufblähung statt.

Photo 12. Dunkelfeld. Aufblähung. Ein kleines Bläschen befindet sich im Hohlraum, isoliert von der Hauptmasse des Protoplasmas. Es entwickelt sich ohne Zusammenhang mit dem Chloroplasten.

Photo 13, 14, u. 15. Chloroplastentrennung. Hochhebung und Beginn der Quellung des Cytoplasmas (*).

Photo 16. Quellung und Vakuolisierung des Chloroplasten. Ein grosser Teil des Zellraums ist mit gequollenem Cytoplasma erfüllt (*).

Photo 17. Quellung des Chloroplasten. Loslösung der Plasmaoberfläche von der Membran. Ziemlich grosser Raum ist mit zerstreuten Cytoplasmasubstanzen erfüllt. Die ursprüngliche oder eine neu durch die Aufblähung gebildete Vakuole (?).

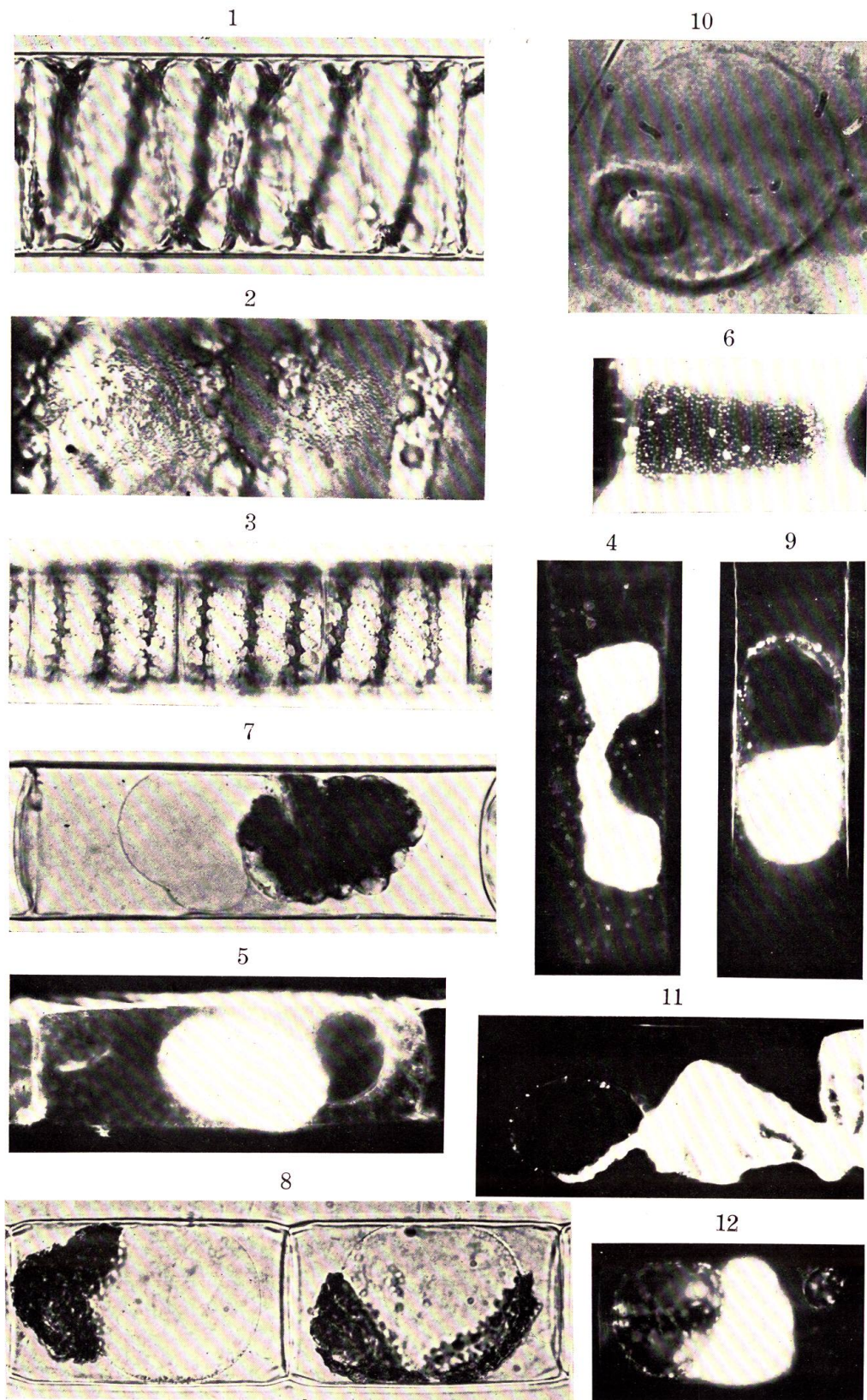
Photo 18. Tropfiger Zerfall des Chloroplasten.

Photo 19. An der rechten Zelle ist der Anfang der Pseudoplasmostylose bemerkbar. Hochhebung des Cytoplasma an der linken Zelle (*).

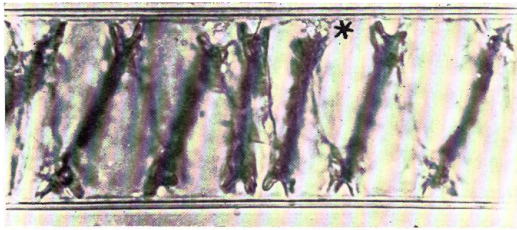
Photo 20. Pseudoplasmo-lyse.

Photo 21. Bildung zahlreicher Bläschen in einer plasmolysierten Zelle.

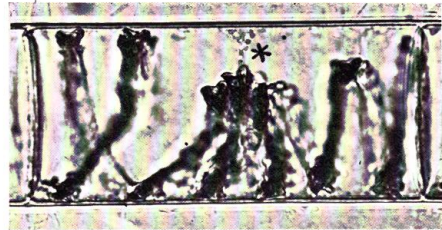
Photo 22. Dunkelfeld. Bläschen in einer plasmolysierten Zelle.



13



14



15



16



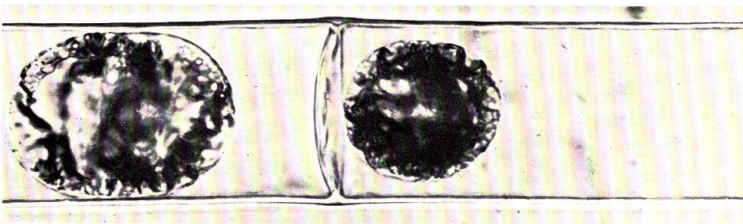
19



17



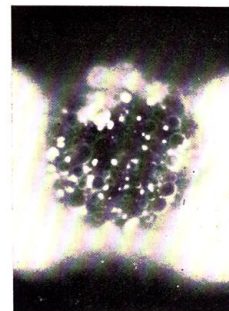
20



18



22



21

