

## Über Reaktionen der lebenden Zellen auf stark verdünnte Lösungen verschiedener Stoffe.

Von

**Th. Bokorny.**

---

Wenn man 1 %ige Sublimatlösung auf Spirogyrazellen einwirken lässt, so bemerkt man unter dem Mikroskop an den von der Lösung direkt getroffenen Zellen fast momentan Absterbeerscheinungen. Der Zellkern geht von der spindelförmigen in eine kugelige Gestalt über und wird schwach bräunlich und weniger durchsichtig. Das wandständige Protoplasma nimmt auch eine etwas opake und grau-bräunliche Beschaffenheit an, der Chlorophyllfarbstoff verfärbt sich allmählich; die Fäden sehen nach einiger Zeit bei makroskopischer Betrachtung schmutzig-bräunlich aus. Der Plasmaschlauch kontrahiert sich allmählich.

Nimmt man 0,001 %ige Lösung (1 : 100 000), so zeigt sich eine ähnliche Veränderung binnen mehreren Stunden.

In 0,0001 %iger Lösung (1 : 1 Mill.) sind binnen 24 Stunden mehrere Zellen abgestorben; die grüne Farbe ist aber noch fast unverändert da. Die Chlorophyllbänder zeigen starke Verschiebung: ein Zeichen, dass hier die lebende Zelle noch einige Zeit gegen das Gift sozusagen gekämpft hat.

In 0,00001 %iger (1 : 10 Mill.) wie auch in 0,000001 %iger (1 : 100 Mill.) Lösung zeigt sich binnen 24 Stunden noch alles unverändert; desgleichen auch in einer Lösung von 1 : 1000 Mill.

Wartet man nun einige Tage, so verändern sich auch letztere Kulturen mit Ausnahme der in der Verdünnung 1 : 1000 Mill.

Zuerst (unter den vier letzten Versuchen) sterben die Algen in der Lösung 1 : 1 Mill. ab. Nach acht Tagen zeigen sie eine schmutzig-bräunlichrote Farbe, während die in Lösung 1 : 100 000 gänzlich gebleicht sind; der Turgor ist verschwunden, der Plasmaschlauch kontrahiert und trüb, die Lösung ist schwach gefärbt (durch Austritt gerbstoffartiger Substanzen). Aber auch schon nach drei Tagen zeigt

sich die verderbliche Wirkung dieser so verdünnten Lösung; zuerst am Zellkern, der unter Trübwerden abstirbt und eine ziemlich grosse Blase im Innern der Zelle an irgendeiner ihm eigentlich nicht zukommenden Stelle bildet, er hat seine zentrale Lage verlassen. Die Anwesenheit von lebenden, sehr kleinen Infusorien, ferner das Wachstum eines Beggiatoa-ähnlichen Pilzes nach acht Tagen zeigten mir an, dass nicht alle Organismen durch Lösung 1:1 Mill. geschädigt werden; in Lösung 1:100 000 freilich zeigte sich kein Infusorium und keine Beggiatoa.

Bei 1:10 Mill. sind nach acht Tagen noch mehrere Fäden oder einzelne Zellen der Fäden am Leben, die meisten freilich sind abgestorben (mit kontrahiertem Plasmaschlauch, trübem exzentrischem Zellkern, trübem Inhalt). Die lebenden weisen eine auffallende Eigenschaft auf, nämlich dass die Chlorophyllbänder eingeschrumpft und vielfach ineinander anastomosierend sind, ferner die Stärkekörner grösstenteils verschwunden, die Zellwände unverhältnismässig dünn. Offenbar ist der Hungerzustand eingetreten, indem keine Kohlensäureassimilation mehr stattgefunden hat; die vorhandene Stärke wurde verbraucht, die Verdickungsschichten der Zellhaut wurden ebenfalls aufgelöst und verbraucht, die Chlorophyllbänder sind ineinander geflossen, gleichsam als wollten sie die Nahrung möglichst gleichheitlich verteilen, so dass stärker ausgehungerte Teile von besser gestellten Nutzen ziehen konnten. Das Assimilationsplasma hat also durch Sublimat hier in erster Linie gelitten. Kleine, zahlreich anwesende, lebhaft bewegliche Infusorien, welche von den abgestorbenen Spirogyrazellen und den daraus austretenden Stoffen lebten, lieferten den Beweis, dass die Organe mancher Tiere weniger empfindlich gegen Sublimat sind als das Assimilationsplasma der Spirogyren.

In Sublimatlösung 1:100 Mill. erschienen die Spirogyren nach acht Tagen nur insofern etwas verändert, als der anfangs grosse Stärkevorrat zum Teil beträchtlich vermindert war und an manchen Stellen das Chlorophyllband sichtbar abgenommen hatte. Also auch hier geringere Kohlensäureassimilation!

Sogar die in der Sublimatlösung 1:1000 Mill. gelegenen Spirogyren zeigten nach 8 Tagen gegenüber dem Kontrollversuch (in reinem Wasser) eine sehr merkbliche Abnahme des Stärkevorrates! Nirgends war bei den Sublimatversuchen

Gasentwicklung in der Flüssigkeit zu bemerken, in den Lösungen 1:10 Mill. und 1:100 Mill. setzten sich die Algen sogar sehr bald zu Boden, was immer geschieht, wenn die Kohlensäureassimilation ausbleibt.

In Kupfervitriollösung 1:100 000 sterben Spirogyren, Cladophoren, Zygnemen, Conferven usw. binnen wenigen Stunden unter Kontraktion, Trüb- und Bräunlichwerden des Plasmaschlauches ab.

In Lösung 1:1 Mill. sind binnen 24 Stunden die meisten Algen unter ähnlichen, nur etwas schwächeren Erscheinungen abgestorben. In den noch nicht abgestorbenen zeigt sich Unordnung der Chlorophyllbänder und Ausscheidung zahlreicher Oxalatkryställchen im Plasmaschlauch. Nach weiteren zwei Tagen sind alle Algenfäden abgestorben.

Ähnliches zeigen die Algen in 1:10 Mill. Kupfervitriollösung nach 24 Stunden, nur ist die Zahl der abgestorbenen Fäden eine geringere. Nach zwei Wochen sind die sämtlichen Zellen abgestorben. Eine Unzahl von Infusorien hat sich eingefunden, die also das Gift vertragen.

Sogar in Lösung 1:100 Mill. sind nach 24 Stunden schon dieselben Störungen und Absterbeerscheinungen zu bemerken; nur ist die Zahl der veränderten Zellen noch geringer, aber doch immer noch erheblich (ca. 30 %). Nach drei Wochen zeigte sich aber der Schaden repariert, die Zellen waren wieder normal und sehr starkreich. Es scheint, dass die Algen in irgendeiner Weise mit dem Gift fertig geworden sind, vielleicht durch chemische Bindung an ausgeschiedene organische Stoffe.

Sogar in Lösung 1:1000 Mill. war an manchen Zellen nach 24 Stunden schon Verschiebung der Chlorophyllbänder und vermehrte Oxalatausscheidung zu bemerken. Nach drei Wochen waren alle Zellen wieder normal, das Gift war offenbar unschädlich gemacht.

Wie enorm empfindlich sind Spirogyren und andere Algen gegen Kupfervitriol! Wie ist das zu erklären? Vielleicht besteht der ganze Chlorophyllapparat einer Spirogyrenzelle in seinem Plasmateil nur aus einem einzigen Riesenmolekül von aktivem Protein, welches durch Anlagerung von nur wenigen Kupferatomen in seiner Funktion gestört wird. Möglicherweise ist es auch bei manchen farblosen Plasmateilen so. Durch spätere Versuche wurde ich von dieser Erklärungsweise zum Teil wieder abgebracht.

Dass die Empfindlichkeit gegen Kupfersalze nicht bei allen Organismen so gross ist, zeigen gewisse Schimmelpilze, welche noch

bei Gegenwart von 1 % Kupfervitriol wachsen. Ferner viele Samen der Phanerogamen, welche durch 0,1 % oder 0,05 % Kupfervitriol nicht am Wachstum verhindert werden (Waschen der Sämereien mit kupfervitriolhaltigen Mischungen).

Übrigens tritt die genannte enorme Giftigkeit der Quecksilber- und Kupfersalze gegen Spirogyren nur dann zutage, wenn man wenig Algen und viel Lösung zum Versuch anwendet.

Nimmt man grosse Mengen Spirogyren auf eine verhältnismässig kleine Quantität der 0,0001 %igen Lösungen (1:1 Mill.) von Sublimat und Kupfervitriol, z. B. 10 g Algen (feucht gewogen) auf je 50 ccm jener Lösungen, so zeigt sich bei Kupfervitriol 1:1 Mill. nach 20 Stunden eine schwache Störung, bei Sublimat eine etwas stärkere; in beiden Fällen sind einige Zellen abgestorben, eine grössere Anzahl Zellen weisen Verschiebungen in den Chlorophyllbändern auf; die Zahl der veränderten Zellen ist bei Sublimat grösser als bei Kupfervitriol; in beiden Fällen sind lebende Infusorien wahrzunehmen.

Nach sechs Tagen zeigt sich keine Verschlechterung; die allermeisten Fäden sehen in beiden Fällen gesund aus, lebende Infusorien sind in grosser Zahl wahrzunehmen.

Also ist die oben beschriebene enorme Giftwirkung des Sublimats und des Kupfervitriols darauf zurückzuführen, dass beide von den lebenden Zellen aufgespeichert werden. Nimmt man wenig Algen (nur ein paar Fäden) auf eine grössere Quantität Lösung, so macht sich die Giftwirkung noch bei einer Verdünnung des Giftes bis zu 1:100, sogar 1000 Mill. geltend; es genügt eben die Gesamtmenge des Giftes, wenn sie in wenigen Zellen aufgesammelt wird, noch, um diese zu vergiften; bei Anwendung von viel Algen ist dieselbe nicht mehr hinreichend, um eine schädliche oder tödliche Wirkung zu äussern.

Wahrscheinlich ist es das Protoplasmaeiweiss selber, welches die Aufspeicherung bewirkt, indem es eine chemische Anziehung zu dem Kupfer- bzw. Quecksilbersalz besitzt.

Vom Kupferhydroxyd, welches ja in den Kupfersalzen an Säure gebunden auftritt, ist schon längst bekannt, dass dasselbe die Albuminate völlig ausfällt unter chemischer Bindung; es eignet sich nach Stutzer zur quantitativen Bestimmung der Eiweissstoffe.

So ist es auch mit vielen anderen Schwermetallen. Mit salpetersaurem Silber z. B. bildet das Eiweiss der Spirogyren ein in Am-

moniak lösliches Silbersalz von der Formel  $C_{144} H_{222} N_{26} SO_{66} Ag_{16}$ ; die Formel des Algeneiweisses selbst ist nach O. Loew  $C_{144} H_{270} N_{34} SO_{48}$ .

Bleiessig gilt als vollkommenes Fällungsmittel für Albuminate. Ich prüfte deshalb seine Wirkung auf lebende Algen.

Der käufliche Bleiessig enthält etwa 40 % basisch essigsauren Bleies. Verdünnt man so weit mit destilliertem Wasser, dass eine 0,5 %ige Lösung entsteht, dann hat man damit eine recht giftig wirkende Flüssigkeit hergestellt.

Infusorien sterben darin unter Trübung binnen wenigen Minuten ab. Ebenso Algen verschiedener Gattung.

Um zu sehen, mit welchem Bestandteil der Zelle sich der Bleiessig verbunden habe, liess ich nach oftmaligem gründlichem Auswaschen mit destilliertem Wasser Schwefelwasserstoff-Wasser einwirken, das bekanntlich schwarzes Schwefelblei ausfällt.

Es trat eine intensive Schwarzfärbung im Protoplasma und Zellkern ein, sonst keine Färbung. Also war das Bleisalz faktisch mit dem Protoplasmaeiweiss in Verbindung getreten.

Ähnliche Proben wurden nun nachträglich auch mit Sublimat und Kupfervitriol angestellt, da sich Quecksilber- und Kupfersalze ebenfalls mit Eiweiss verbinden und die Anwesenheit der Metalle durch die schwarze Färbung des Schwefelmetalls nach Einwirkung von Schwefelwasserstoff sich erkennen lässt.

Ich erhielt intensive Schwärzungen an Protoplasma und Zellkern; bei Spirogyren namentlich an letzterem, da ja hier der Plasmanschlauch ungemein dünn zu sein pflegt und der Zellkern grössere Mengen von Eiweiss in sich aufgespeichert enthält.

Es scheint übrigens, dass vom Protoplasmaeiweiss ziemlich schwierig Bleisalz gebunden wird, da doch relativ grosse Mengen des Bleisalzes nötig sind, um das Plasma zu töten.

Nach Nobbé sind Bleisalze für Phanerogamen nur etwa den dritten Teil so giftig als Zinksalze. Die Blütenpflanzen zeigen nach Freitag sehr bald ein Absterben der Wurzeln, wenn man sie in Nährlösungen verbringt, welche bis 0,02 % eines Zinksalzes enthalten.

In essigsaurem Blei (Bleizucker) von 1:100 000 zeigen Spirogyren nach zwei Stunden noch unverändert grüne Farbe und starken Turgor. Sogar nach vier Tagen waren noch ungefähr zwei Drittel der Zellen am Leben; die lebenden zeigten zum Teil Unordnung in den Chlorophyllbändern, viele derselben aber schienen

ganz normal zu sein und das Gift zu überwinden. Äusserlich war an dieser Algenkultur auffallend, dass sie in kurze Fadenstücke zerfallen war. Neben den Spirogyren fanden sich auch lebende Konferven und andere Algen vor; sogar lebhaft bewegliche Infusorien waren da.

Zu meinem Erstaunen starb die Kultur bei weiterem Verweilen in der essigsauen Bleilösung nicht ab, befand sich vielmehr nach sechs Tagen noch grossenteils und sogar nach zwölf Tagen noch teilweise am Leben.

In Lösung 1:1 Mill. waren die Algen nach 22 Tagen noch völlig intakt, die Fäden nicht in Stücke zerfallen; es schien keine Zellfunktion gestört zu sein, auch die Assimilation der Kohlensäure nicht; denn die Fäden waren reichlich mit Stärke angefüllt.

Eisenvitriol ( $\text{FeSO}_4 + 7 \text{H}_2\text{O}$ ) ist auch von verhältnismässig geringer Schädlichkeit.

Nach 24 Stunden waren in Lösung 1:1000 nur ungefähr die Hälfte der Zellen zweifellos getötet; in Lösung 1:10 000 kaum der zwanzigste Teil. Die abgestorbenen Zellen wiesen blauschwarz gefärbte Körnchen auf; der im Zellsaft gelöste Gerbstoff hatte sich mit Eiweiss verbunden zu einem Niederschlag, welcher mit dem in Oxydation begriffenen Eisenvitriol die bekannte Gerbstoffreaktion gab. Nach sechs Tagen waren auch die Algen der Lösung 1:10 000 nur teilweise unter Kontraktion des Plasmaschlauches und Blauschwarzfärbung abgestorben.

Mit Eiweiss (Albumose) gibt der Eisenvitriol im Reagensglase keinen Niederschlag.

Sollte vielleicht die sauerstoffbindende Eigenschaft des Eisenvitriols seine Schädlichkeit bedingen?

Zur Probe auf die Richtigkeit dieses Gedankens wurden folgende Versuche gemacht:

Ich wiederholte zunächst nochmals den Versuch mit Eisenvitriol 1:10 000, wobei die Lösung mit lange Zeit gekochtem Wasser hergestellt wurde und der Versuch im Dunklen stattfand. Nach sechs Tagen war nur ein kleiner Teil der Zellen abgestorben.

In Eisenchloridlösung 1:10 000 gingen Spirogyren binnen zwölf Stunden nicht zugrunde, die Fäden zeigten aber eine Neigung, in einzelne Stücke zu zerfallen; nach weiteren 24 Stunden war es noch ebenso. Nach sechs Tagen war der Zerfall der Fäden in ein-

zelne Zellen noch weiter fortgeschritten; eine beträchtliche Anzahl der Zellen war abgestorben.

Durch den Aufenthalt in luftfreiem Wasser gehen Spirogyren bei Dunkelheit binnen zwölf Stunden nicht zugrunde. Nach weiteren 24 Stunden war auch noch kein Absterben zu bemerken. Selbst nach sechs Tagen zeigten sich noch die meisten Zellen unverändert.

Da die Pflanzen im Dunklen nicht assimilieren und somit keinen Sauerstoff entwickeln können, so haben die Spirogyren also bei letztem Versuch sowie auch bei dem oben angeführten (mit Eisenvitriol 1:10 000) sechs Tage in einem sauerstofffreien Medium gelebt. Die Giftwirkung des Eisenvitriols ist also nicht etwa auf Sauerstoffentzug zurückzuführen, sondern auf die direkte Einwirkung des Eisenoxydulsalzes auf das Protoplasma. Auch müsste sonst das Eisenoxysalz weniger schädlich wirken als das Oxydulsalz, was mir aber nicht der Fall zu sein schien.

Der Eisenvitriol gehört jedenfalls zu den schwächeren Metallgiften. Auch in der Bakteriologie glaubt man jetzt nicht mehr an die einst vielgerühmte stark desinfizierende Wirkung des Eisenvitriols.

Wenigstens gilt dies von dem reinen Eisenvitriol.

Ist derselbe durch Kupfervitriol verunreinigt, was ja häufig vorkommt, so kann man wohl an eine stärkere desinfizierende Kraft glauben, da ja der Kupfervitriol, wie oben gezeigt, gegen Mikroorganismen aus dem Bereiche der Algen so enorm giftig ist.

Dass Eisensalze in sehr geringer Menge für Pflanzen und Tiere vorteilhaft, ja sogar notwendig sind, braucht nicht hervorgehoben zu werden.

In Hydrochinon 1:1000 blieben die Algen nicht einmal 24 Stunden lang am Leben; nach Ablauf dieser Zeit waren sämtliche Protoplasten kontrahiert, die Fäden ohne Turgor; Verfärbung war nicht eingetreten (wahrscheinlich weil keine Oxydation der Gerbstoffe stattfinden konnte infolge Anwesenheit des selbst oxydationsfähigen Hydrochinons).

Als die Lösung nun aufs Zehnfache mit ausgekochtem Wasser verdünnt und wieder mit frischen Algen versehen wurde, zeigte sich binnen drei Tagen ein völliges Absterben der Fäden unter Kontraktion des Plasmaschlauches.

Vermutlich war es nicht der Mangel an Sauerstoff, der die Algen tötete.

In Pyrogallol 1:1000 waren nach 24 Stunden sämtliche eingesetzten Algen unter Kontraktion des Plasmaschlauches zugrunde gegangen.

Lösung 1:10 000 erwies sich auch hier als tödlich binnen drei Tagen.

Da das Pyrogallol eine sauerstoffbindende Substanz ist, und zwar noch mehr als das Hydrochinon, so kann wohl hier der Sauerstoffentzug zum Teil schuld an dem Absterben der Zellen gewesen sein.

Um die Frage weiter zu verfolgen, setzte ich Hefe, welche bekanntlich Sauerstoffentzug längere Zeit ertragen kann, wenn gärfähiger Zucker da ist, mit den obengenannten Lösungen und Rohrzucker an.

Es wurden folgende acht Versuche (mit ausgekochtem Wasser) aufgestellt:

1. Hydrochinon 1:1000; 5 % Rohrzucker; viel Hefe.
2. Hydrochinon 1:1000; 5 % Rohrzucker; Nährsalze; Spur Hefe.
3. Hydrochinon 1:10 000; 5 % Rohrzucker; viel Hefe.
4. Hydrochinon 1:10 000; 5 % Rohrzucker; Nährsalze; Spur Hefe.
5. Pyrogallol 1:1000; 5 % Rohrzucker; viel Hefe.
6. Pyrogallol 1:1000; 5 % Rohrzucker; Nährsalze; Spur Hefe.
7. Pyrogallol 1:10 000; 5 % Rohrzucker; viel Hefe.
8. Pyrogallol 1:10 000; 5 % Rohrzucker; Nährsalze; Spur Hefe.

In Versuch 7 verlief die Gärung fast normal, nur etwas langsamer; nach drei Tagen zeigte die Hefe einige frische<sup>1)</sup> Sprossungen, aber nicht viele; die Flüssigkeit war noch trüb von Hefe. Ein Vermehrungsversuch ergab das völlige Verschwinden der Vermehrungsfähigkeit.

In Versuch 3 verlief die Gärung (bei 20°) fast so wie gewöhnlich, nur etwas langsamer; die Flüssigkeit war am dritten Tage noch stark trüb von Hefe. Frische Sprossungen waren an der Hefe unter dem Mikroskop noch nicht sichtbar.

Ein Vermehrungsversuch mit Spur dieser Hefe in normal zusammengesetzter Gär- und Nährflüssigkeit zeigte mir, dass die Hefe nicht mehr oder nur schwach vermehrungsfähig war; erst nach

---

1) Durch den Vergleich mit der ursprünglichen Hefe zu beurteilen.



14 Tagen waren einzelne Hefesprossungen (Verbände) zwischen dem nun reichlich gewachsenen Schimmel (Mukor und feinfädigen Schimmelarten) zu sehen.

Die Flüssigkeiten in Versuch 5 und 7 gärten normal und waren nach drei Tagen völlig abgeklärt. Unter dem Mikroskop zeigten sich bei 7 einige frische Sprossungen (nicht viele), bei 5 keine.

Ein Vermehrungsversuch (wie vorhin ausgeführt) zeigte mir, dass die Vermehrungsfähigkeit der Hefe erloschen war.

Die Versuche 2, 4, 6 und 8 ergaben, dass in diesen Flüssigkeiten keine erhebliche Vermehrung der Hefe möglich sei. Nach fünf Tagen zeigte sich Schimmel, der bei 6 ziemlich stark bräunlich gefärbt war (infolge der Ablagerung der Oxydationsprodukte des Pyrogallols).

Aus der ganzen Versuchsreihe mit Hefe geht hervor, dass Hydrochinon und Pyrogallol direkt giftig seien, nicht durch Sauerstoffbindung.

Koffein ruft, als 0,5 %ige Lösung angewandt, in Spirogyrenzellen eine eigentümliche Wirkung hervor, die vom Verfasser schon früher (Pringsh. Jahrb. Bd. 19 Heft 2 S. 217) beschrieben wurde; es bilden sich Hohlkugeln im Innern, welche bald mit noch kleineren Kugeln im Innern sich anfüllen (Ausscheidung von gelöstem aktivem Albumin oder zum Teil Niederschlagsmembranen von Koffein mit Gerbstoff[?]).

Bei Einwirkung von 0,1 bzw. 0,01 %iger Koffeinelösung auf gerbstoffreiche Spirogyren bildet sich ein Gerbstoffniederschlag<sup>1)</sup> im Zellsaft, der wohl auch das gelöst gewesene Albumin enthält und aus kleinen Körnchen besteht; in 0,1 %iger Lösung ist dieser Niederschlag sehr stark und in allen Zellen vorhanden, bei 0,01 %iger Lösung entsteht er nur in einigen Zellen und schwach; durch 0,1 %ige Lösung trüben sich die Spirogyrenzellen sofort unter Annahme eines bräunlichen Farbtones und Bildung jener Körnchen. Es scheint, dass die Plasma- und Vakuolenhaut durch diese 0,1 %ige Koffeinelösung momentan etwas verändert wird, so dass sie nun das Koffein durchpassieren und zum Zellsaft gelangen lässt, gleichzeitig mit etwas in Wasser gelöstem Sauerstoff, welcher den Gerbstoff oxydiert und bräunt. Nach 16 Tagen hat sich der Niederschlag glatt abgesetzt an der zufällig nach unten gekehrten Seite des Zell-

---

1) Ausserdem bilden sich auch Körnchen im Plasmaschlauch.

innenraumes; das Plasma mit Chlorophyllbändern, ferner der Zellkern, erscheinen normal; die Zellen leben ungestört weiter, assimilieren usw. Von der Wirkung der 0,01 %igen Lösung ist überhaupt nichts mehr zu sehen; der Niederschlag ist aufgelöst, die Zellen vollkommen normal.

Also können die Veränderungen, welche sehr verdünnte Koffeinelösungen hervorrufen, wiederum ausgeglichen werden.

Da die Spirogyrenzelle neben dem Eiweiss auch Gerbstoff enthält, so eignet sich diese zum Studium der Reaktionen des Protoplasma-eiweisses auf Koffein weniger gut.

Tierische Zellen, wie Amöben und Infusorien, versprechen bessere Erfolge.

Lässt man 0,1 %ige wässrige Koffeinelösung auf Amöben einwirken, so merkt man bald bei mikroskopischer Beobachtung, dass dieselbe gut ertragen wird; die freie Ortsbewegung und die strömende Bewegung im Innern dauert fort, auch bei tagelanger Einwirkung der Lösung; gleichzeitig anwesende sonstige niedere Tiere, wie Infusorien, ferner niedere Pflanzen, Schwärmsporen von Algen usw., nehmen ebenfalls keinen merklichen Schaden.

Bei längerer Versuchsdauer aber zeigt sich an der lebenden Amöbe eine auffallende Veränderung, indem dieselbe sich nun schärfer von dem umgebenden Wasser abhebt; zahlreiche grosse Vakuolen treten im Innern auf, welche durch stark lichtbrechendes Plasma getrennt sind; die Fortsätze (Pseudopodien) werden länger und dünner, die Bewegung ist langsamer und macht den Eindruck, als ob die sich bewegende Masse nicht mehr jenen Grad von Dünflüssigkeit hätte wie zuvor. All das deutet darauf hin, dass das Plasma in einen dichteren (wasserärmeren) Zustand übergegangen ist. Die Vakuolen, offenbar durch Wasserausscheidung aus dem Plasma zustande gekommen, ferner das stärkere Lichtbrechungsvermögen sind Folgen des grösseren Eiweissreichtums und geringen Wassergehaltes im Plasma.

Ersetzt man die Koffeinelösung durch reines Wasser, so kann der frühere Zustand der Amöbe wiederhergestellt werden!

Auch hier haben wir also zu konstatieren, dass scheinbar recht beträchtliche Veränderungen der lebenden Zelle wiederum völlig beseitigt werden können, wenn die Ursache der Veränderungen be-

seitigt wird. Die durch das Gift Koffein bewirkte Veränderung der lebenden Zelle ist reparabel, wenn das Gift in nicht zu hoher Konzentration und nicht zu lange einwirkt.

Bringt man das Infusorium *Paramecium* in Koffeinelösung 1:1000, so dauert die Wimperbewegung und freie Ortsbewegung unverändert fort, während die beiden kontraktilen Vakuolen sich vergrössern und allmählich ihre Kontraktionsfähigkeit verlieren; das Plasma nimmt dabei ein stärkeres Lichtbrechungsvermögen an. Aus der Vakuolenvergrösserung scheint hervorzugehen, dass das lebende Plasma Wasser ausscheidet unter dem Einflusse jenes schwach basischen Stoffes; indem das Plasma hiermit dichter, d. i. wasserärmer, wird, nimmt es stärkeres Lichtbrechungsvermögen an. Abgesehen von dem Verlust der Kontraktionsfähigkeit in den Vakuolen scheint das Infusorium nicht verändert zu werden; es setzt seine Bewegungen tagelang in der Koffeinelösung unbehindert fort. In manchen findet sich schliesslich statt der zwei Vakuolen eine einzige sehr grosse vor; zugleich nimmt der Infusorienleib dabei oft eine runde Gestalt an. Das Plasma bildet dann eine ziemlich dünne Hülle um die grosse Vakuole, so dass die noch immer lebhaft bewegliche Zelle ein ganz verändertes Aussehen, fast das einer Pflanzenzelle (mit peripherischem Plasmanschlauch und einer einzigen grossen Vakuole, dem „Zellsaft“), gewinnt.

Leider ging der betreffende Versuch zugrunde, als die Koffeinelösung durch reines Wasser ersetzt werden sollte. Es konnte also nicht festgestellt werden, ob die erwähnten Veränderungen reparabel seien.

Dass auch andere basische Stoffe, z. B. Ammoniak, ähnliche Wirkungen hervorrufen können, wurde vom Verfasser schon früher hervorgehoben (Pflüger's Arch. Bd. 59. 1895); nur muss man die Verdünnungen noch grösser nehmen.

Einschlägig ist hier ferner auch die „Aggregation“, welche zuerst Ch. Darwin an lebenden *Drosera*-Tentakeln<sup>1)</sup> beobachtete, dann H. de Vries u. a. genau studierten. Sie besteht in einer Ballung des lebenden Zellinhaltes, welche nachher wieder aufgehoben wird, wenn der Reiz aufhört.

---

1) Es sei hier nur kurz bemerkt, dass diese Tentakeln in grosser Zahl an der Oberseite des *Drosera*-Blattes stehen und durch die Berührung mit einem Insekt oder auch durch andere Ursachen in den Reizzustand übergehen, wobei sie sich alle gegen die Mitte des Blattes einbiegen und aus der an der Spitze befindlichen Drüse einen klebrigen und verdauenden Saft absondern.

Über die Ursache der Zusammenballung des lebenden Inhaltes von *Drosera*-Zellen sagt Darwin, dass fast alle Mittel, welche Einbiegung der Tentakeln verursachen, auch Aggregation bewirken; doch falle die Aggregation nicht völlig mit der Einbiegung der Tentakel zusammen, da die zentralen Tentakel, obwohl sie nicht im geringsten gebogen werden beim Einbringen eines Blattes in eine schwache Lösung von irgendeinem Ammoniaksalze, doch Aggregation zeigen; die Ballung sei also nicht das direkte Resultat der Einbiegung, auch von der stärkeren Absonderung der Drüsen im gereizten Zustande sei sie unabhängig<sup>1)</sup>. Zusammenballung wird nach ihm durch die allerverschiedensten Ursachen erregt: dadurch, dass die Drüsen mehrere Male berührt werden — durch den Druck von Stückchen irgendwelcher Art — dadurch, dass die Tentakel dicht unter den Drüsen abgeschnitten werden — durch Aufsaugen verschiedener Flüssigkeiten — durch einen gewissen Grad von Wärme. Das kräftigste Mittel aber, die Zusammenballung zu bewirken, ist nach Darwin die Aufsaugung von kohlensaurem Ammoniak, von dem schon 0,000 482 mg genügen, um, durch eine Drüse aufgesaugt, in allen Zellen desselben Tentakels Zusammenballung zu verursachen. Ich kann noch hinzufügen, dass freies Ammoniak nicht minder energisch wirkt. Auch andere Ammoniaksalze, wie salpetersaures Ammoniak, bewirken Aggregation, aber (nach Darwin) bei weitem nicht in dem Masse wie kohlensaures Ammoniak. Schwefelsaures Chinin und Nikotin, ferner zitronensaures Strychnin sowie das Gift der Kobra veranlassen nach Darwin ebenfalls Aggregation in den *Drosera*-Tentakeln.

Wenn die Drüse eines *Drosera*-Tentakels gereizt worden ist, etwa durch Spuren von kohlensaurem Ammoniak, dann bietet derselbe bald nachher ein gänzlich verändertes, von Darwin genau geschildertes Ansehen dar. Die Zellen, anstatt mit homogener Flüssigkeit erfüllt zu sein, enthalten nur verschiedentlich geformte Massen von purpurner Substanz in einer farblosen oder beinahe farblosen

1) Mir scheint aber doch ein Zusammenhang zwischen Aggregation einerseits und Biegung der Tentakel sowie Sekretion anderseits zu bestehen, allerdings ein gerade entgegengesetzter zu dem von Darwin geleugneten. Biegung und Sekretion sind wohl Folge, nicht Ursache der Aggregation. Die zentralen Tentakel biegen sich nicht, weil bei ihnen die Zusammenballung auf allen Seiten gleichmässig erfolgt, während sie bei den wandständigen infolge einseitigen Eindringens des Reizmittels auf der Oberseite stärker und rascher erfolgt.

Flüssigkeit suspendiert. Die Veränderung ist so augenfällig, dass sie durch eine schwache Lupe sichtbar ist und manchmal sogar mit blossen Auge; die Tentakeln haben nun ein geflecktes Ansehen, so dass ein in dieser Weise affizierter mit Leichtigkeit von anderen unterschieden werden kann. Dasselbe Resultat erfolgt, wenn die Drüsen auf der Scheibe auf irgendeine Weise gereizt werden, so dass die äusseren Tentakeln gebogen werden; denn ihren Inhalt wird man dann in einem zusammengeballten Zustande finden, obgleich ihre Drüsen noch keinen Gegenstand berührt haben. „Durch welche Ursachen auch der Prozess nur immer angeregt worden sein mag, er fängt innerhalb der Drüsen an und geht dann die Tentakeln hinunter. Er kann viel deutlicher in den oberen Zellen der Stiele als in den Drüsen beobachtet werden, da diese etwas undurchsichtig sind. Kurz nachdem die Tentakeln sich wieder ausgestreckt haben, werden all die kleinen Massen von Protoplasma wieder aufgelöst, und die purpurne Flüssigkeit in den Zellen wird wieder so homogen und durchsichtig, wie sie vorher war.“ „Die kleinen Massen von zusammengeballter Substanz sind von den allerverschiedensten Formen, oft kugelig oder oval, manchmal sehr verlängert oder ganz unregelmässig mit faden- oder halsbandartigen oder keulenförmigen Vorsprüngen. Sie bestehen aus dicker, augenscheinlich zäher Substanz, welche in den äusseren Tentakeln von einer leicht purpurnen und in den kurzen scheibenständigen Tentakeln von einer grünlichen Färbung ist. Diese kleinen Massen verändern unaufhörlich ihre Form und Stellung und ruhen niemals. Eine einzige Masse teilt sich oft in zwei, welche sich nachher wieder vereinigen. Ihre Bewegungen sind ziemlich langsam und gleichen denen der Amöben oder der weissen Blutkörperchen. Wir können daher folgern, dass sie aus Protoplasma bestehen.“ „Der Prozess der Zusammenballung ist ein lebendiger; ich meine damit, dass der Inhalt der Zellen lebendig und unverletzt sein muss, um in dieser Weise affiziert werden zu können.“ Aus der eingehenden Schilderung Darwin's gehen vor allem zwei wichtige Dinge klar hervor: 1. dass die beschriebene Zusammenballung nur in lebenden Zellen auftritt, 2. dass die lebende Zelle die Kraft und das Bestreben hat, jene Zusammenballung lebendiger Substanz wieder aufzuheben und den früheren Stand der Dinge wiederherzustellen. Bezüglich der Natur der sich ballenden Substanz glaubt Darwin annehmen zu müssen, dass sie lebendes Protoplasma

sei, welche Meinung zwar nicht vollständig zutreffend, aber doch annähernd richtig sein dürfte.

H. de Vries hat die „Aggregation“ in den Drosera-Tentakeln hinsichtlich des letzten Punktes einer genauen Prüfung unterzogen und fasst seine Resultate dahin zusammen, dass er an der „Aggregation“ drei Phasen unterscheidet: 1. eine beschleunigte und vielfach stärker differenzierte Zirkulation des wandständigen Protoplasmas; 2. eine Teilung der Vakuole in mehr oder weniger zahlreiche kleinere, welche dabei alle von einem Teile der ursprünglichen Wand der Vakuole umschlossen bleiben; 3. eine sehr bedeutende Verminderung des Volumens dieser Vakuolen, bei der ein Teil ihrer Masse durch ihre Wand hindurch ausgestossen wird und sich zwischen dieser und dem zirkulierenden Protoplasma ansammelt. Hinsichtlich der Natur der entstehenden Ballen erfahren wir hieraus also, dass sie Teilprodukte der ursprünglich einzigen Vakuole seien, welche zugleich eine mehr oder minder starke Kontraktion erfahren, so dass das Gesamtvolumen aller Teilvakuolen weit hinter dem der anfänglich einzigen zurückbleiben kann. Da die Vakuolen nach Vries immer mit einer eigenen Wand aus lebendem Protoplasma (dem Tonoplasten) umkleidet sind, welche offenbar bei diesen Vorgängen eine entscheidende Rolle spielt, so stimmt Vries mit Darwin insofern überein, als beide die sich ballende Substanz für lebendes Protoplasma erklären, wobei nur Vries die Ballung auf einen bestimmten Bestandteil des Protoplasmas, die Vakuolenwand, zurückführt. Dass die Aggregation nur in lebenden Tentakeln eintritt, ist somit begreiflich.

Nach den Versuchen des Verfassers wirkt ebenso wie kohlen-saures Ammoniak auch freies Ammoniak — in grosser Verdünnung angewandt — auf Drosera -Tentakel; ebenso hoch verdünntes Kaliwasser. Also ist der Stickstoffgehalt für die zum Reizen angewandte Substanz nicht so wesentlich, wie Darwin glaubte.

Hingegen scheint die basische Natur des Stoffes wesentlich zu sein. Denn ich konnte mit Koffein, Strychnin, Chinin, Antipyrin ebenfalls Aggregation in Drosera-Zellen hervorrufen, stets grosse Verdünnung vorausgesetzt. Ferner erhielt ich aggregationsähnliche Erscheinungen an verschiedenen Zellen mit kohlen-saurem Kali oder Natron, Mono-, Di- und Tri-Äthylamin, Tetraäthyl-Ammoniumhydroxyd, Hydrazin, Hydroxylamin, Ortho- und Para-Toluidin usw.

Dass die beschriebenen („Aggregations“-)Erscheinungen nur bei

grosser Verdünnung des betreffenden basischen Stoffes (mindestens 0,1 %) auftreten, ist wohl ein Beweis dafür, dass man es hier nicht mit einer gewöhnlichen chemischen Reaktion zu tun habe, sondern mit einer Art Reizwirkung.

Bei *Drosera* hat Darwin festgestellt, dass auch mechanische Reize (Berührung mit einem festen Körper, Druck usw.), ferner Wärme dieselben Erscheinungen hervorrufen können.

Für die meisten anderen in Betracht kommenden Zellen dürfte aber wohl der chemische Reiz durch Spuren basischer Stoffe das einzige Auslösungsmittel sein.

Rein chemische Einwirkungen von Basen auf Eiweissstoffe gibt es ja wohl auch. Es ist längst bekannt, dass die Basen mit Eiweiss Verbindungen bilden, sogenannte Alkalialbuminate, welche beim Kochen nicht gerinnen, durch Neutralisieren gefällt werden usw.

Allein das kommt hier wohl nicht in Betracht, weil die Verdünnung des Reagens zu gross ist und die Reaktion durch Einbringen der betreffenden Zellen in reines Wasser wieder rückgängig gemacht werden kann oder von selbst zurückgeht und das Plasma bei dem ganzen Vorgang am Leben bleibt.

„Wässrige Ammoniaklösung von 1:100 tötet Amöben fast augenblicklich; sie stellen sofort ihre Bewegungen ein und verquellen zu einer durchsichtigen, vom Wasser sich wenig abhebenden Masse; indem schliesslich die äussere Hautschicht zerstört wird, gelangen die dem Amöbenplasma eingebetteten stark lichtbrechenden Körnchen in Freiheit. Ammoniak von 1:500 wirkt ebenfalls tödlich.

Verdünnt man letztere Ammoniaklösung auf das Fünffache, so wirkt sie nicht mehr tödlich; die kriechende Bewegung der Amöben wie auch die Strömung im Innern dauert fort. Nach mehreren Stunden nimmt dann das Plasma eine schaumige Beschaffenheit an, indem zahlreiche Vakuolen, grosse und kleine, im Innern auftreten. Auch hier scheint also durch den basischen Stoff eine Wasserausscheidung aus dem Plasma zu erfolgen, ohne dass dadurch die Lebensfähigkeit verloren ginge; solche schaumig gewordenen Amöben kriechen noch lebhaft umher.

*Paramecium* stellt bei Einwirkung einer 1:500 Ammoniaklösung sogleich seine Bewegungen ein und erleidet auch sichtbare Veränderungen im Plasma, welche den Tod bekunden. Ammoniak von 1:1000 wirkt ähnlich. Auch wenn die Verdünnung 1:5000 angewandt wird, tritt bald eine Verlangsamung der Bewegung und

schliesslich Stillstand ein; zugleich treten Formveränderungen auf; das Infusorium wird rundlich und zeigt, im optischen Durchschnitt gesehen, einen breiten, völlig hyalinen Saum, aus dem mehrere breite, gerundete Auswüchse hervortreten; bisweilen lösen sie sich ab und nehmen völlige Kugelgestalt an. Schliesslich öffnet sich der Infusorienleib an einer Stelle und nun quillt der körnige Inhalt daraus hervor.

Sogar durch wässrige Ammoniaklösung von 1:10 000 treten die eben genannten Wirkungen noch teilweise ein. Viele Individuen aber leben fort, bewegen sich munter und zeigen dabei Vakuolenvergrösserung und Auftreten neuer Vakuolen im Innern, ferner eine etwas grössere Starrheit des Infusorienleibes: Erscheinungen, welche wiederum auf Wasserausscheidung aus dem lebenden Plasma schliessen lassen. Nach  $\frac{1}{2}$ stündiger Einwirkung dieser hochverdünnten Ammoniaklösung kann man oft bis zu 20 grosse Vakuolen im Innern der noch lebhaft beweglichen Infusorien wahrnehmen.“

Reaktionen, die wieder zurückgehen können, sind vom Verfasser mit sehr verdünnten Koffeinelösungen auch an lebenden Spirogyrenzellen beobachtet worden.

Dieselben zeigen nach dem Einbringen in 0,1%ige Koffeinelösungen Kontraktion und Teilung der Vakuolenwand (also Bildung mehrerer Vakuolen statt einer), ferner Ausscheidung von Eiweissballen sowohl im Plasma als auch im Zellsaft.

Spirogyren, welche zwölf Stunden in jener Koffeinelösung gelegen waren und dann in reines Wasser zurückgebracht wurden, lebten bei einem vom Verfasser angestellten Versuche viele Wochen lang trotz jener Veränderungen ungestört weiter und machten die vom Koffein bewirkten Veränderungen allmählich wieder rückgängig.

Schlussbemerkungen. Die oben aufgeführten Wirkungen sehr verdünnter Lösungen sind verschieden zu erklären.

Zum Teil sind sie auf die Aufsammlungstätigkeit der lebenden Zelle infolge chemischer Bindung zurückzuführen.

So ist es mit dem Sublimat und dem Kupfervitriol.

Dieselben wirken wohl noch in 1%iger Lösung, nicht mehr aber in Lösung 1:1000 augenblicklich tödlich oder schädlich; es vergehen in letzterem Falle ca. zehn Minuten, bis sich an einzelnen Zellen die Giftwirkung zeigt.

Auch sind 50 ccm einer 0,0001%igen Lösung dieser Gifte nicht mehr imstande, 10 g Algen (feucht gewogen) zu vergiften; wohl



aber 50 ccm einer 0,001 %igen Lösung. Die in ersterem Falle vorhandene Menge des Quecksilber- oder Kupfersalzes, 0,05 mg, ist also nicht ausreichend, das Protoplasma von 10 g Algen zu vergiften; dagegen reichen 0,50 mg dazu hin.

Das Eiweiss von 10 g Algen mag ungefähr 0,1—0,2 g betragen. Die Menge von Kupfer- oder Quecksilbersalz, welche sich mit dieser Menge Eiweiss verbindet bis zum Tode der Zelle, würde also zwischen 0,05 und 0,50 mg, also bei weitem kein ganzes Milligramm betragen. Das Protoplasma-Eiweiss erfordert also etwas weniger als den hundertsten Teil seines eigenen Trockengewichtes von jenen Giften, um getötet zu werden.

So viel muss in einer Lösung der Gifte da sein, wenn das Gift wirksam sein soll. Ist noch weniger vorhanden, so kann nur durch öftere Erneuerung der Lösung, wodurch immer wiederum kleine Mengen des Giftes zugeführt werden, die Vergiftung perfekt werden.

In den am Eingang der Arbeit angeführten Fällen, wo Spirogyren durch Lösungen von 1:10 Mill. vergiftet wurden, ohne Erneuerung der Lösung, war dies nur möglich durch die relativ grosse Menge Lösung und die sehr kleine Portion Algen.

Das Aufsammeln von Stoffen durch chemische oder physikalische Bindung ist auch schon sonst an lebenden Zellen beobachtet worden.

So hat Pfeffer mit sehr verdünnten Farbstofflösungen Versuche an verschiedenen Pflanzen angestellt. Die Färbung gestattet, den Verlauf und den Ort der Aufnahme resp. der Anhäufung direkt zu verfolgen.

Im Zellsaft verschiedener Zellen wird z. B. durch Methylenblau eine farbige Lösung (Wurzel von *Lemna minor*, Wurzelhaare von *Trianca bogotensis*), teilweise ein blauer Niederschlag (*Spirogyra*, Wurzel von *Azolla*) hervorgerufen. Dabei beginnt bei Anwendung einer Lösung, die nur 0,001—0,0005 % des Farbstoffes enthält, die Reaktion schon nach einigen Minuten, um weiterhin schnell zu ansehnlicher Anhäufung des Farbstoffes im Zellsaft zu führen. Obgleich kleine Mengen von Methylenblau im Protoplasma vorhanden sind, erscheint dieses ungefärbt, während Methylviolet und Cyanin in dem Protoplasma der Wurzelhaare von *Trianca* genügend gespeichert werden, um bei der angegebenen Verdünnung eine violette Färbung hervorzurufen.

Im Zellsaft von *Spirogyra*, *Azolla* wird das Methylenblau von dem gelösten Gerbstoff gebunden, worauf es sich als blauer Nieder-

schlag ausscheidet. Bei *Lemna*, *Trianea*, *Elodea* u. a. ist die Natur der gespeicherten Verbindung nicht bekannt.

In den Epidermiszellen von *Lemna minor* kann die Farbstoffkonzentration binnen ein bis drei Stunden 1 % erreichen, während die dargebotene Flüssigkeit nur 0,001 % Methylenblau enthält.

Um zu sehen, wie sehr die verschiedenen zur Ernährung dienenden Mineralstoffe einer Lösung in der lebenden Pflanze angehäuft, ja, geradezu ausgesucht werden, braucht man nur die Aschenbestandteile des Fluss- und Seewassers mit denen der darin lebenden Wasserpflanzen zu vergleichen.

Während u. a. das Meerwasser weniger als ein Millionstel seines Gewichtes an Jod enthält, sind in der Asche von *Fucus digitatus* 5,37 % Jod zu finden, und 100 Teile frischer Pflanzensubstanz hinterlassen beim Einäschern 3,57 % Asche (nach Liebig). Ebenso konnte Forchhammer (Annalen d. Phys. u. Chem. Bd. 95. 1855) in dem aus 20 Pfund Seewasser gewonnenen Eisenoxyd nur eine Spur von Mangan nachweisen, während die Asche der im Meere gewachsenen *Padina pavonia* 8,19 % Mangan enthält (die trockene Pflanze liefert 34,75 % Asche).

Ferner seien hier die von Gorup-Besancz an *Trapa natans* ausgeführten Aschenanalysen (der ganzen Pflanze) angeführt, daneben die Mineralanalyse des Wassers selbst:

	Reinasche	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cl
Asche von <i>Trapa</i> im Mai . . . . .	25,55 %	6,89	1,41	14,91	7,56	29,62	2,73	28,66	0,65
Asche von <i>Trapa</i> im Juni . . . . .	13,69 %	6,06	2,71	17,65	5,15	23,40	2,53	27,36	0,46
Mineralbestandteile des Wassers . . . . .	<div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> in 10000 Teilen 0,8044 Gesamt- rückstand </div>	9,08	9,22	42,44	18,09	1,12	17,03	1,90	1,18

Man sieht, in welchem verschiedenem Grade die einzelnen Mineralbestandteile des Wassers von der Wasserpflanze angehäuft werden, je nachdem sie eben dieselben für ihre Organe braucht. Am auffallendsten ist der Unterschied bei dem (unentbehrlichen) Eisen und dem (entbehrlichen) Natron, ferner merkwürdigerweise auch bei der Kieselsäure, von welcher angenommen wird, dass sie zu den entbehrlichen Mineralbestandteilen der Pflanze gehöre. Eisen wird von der Pflanze für die Chlorophyllapparate verbraucht, vielleicht auch noch für andere Organe. Für das Natron hat die Pflanze keine Ver-

wendung. Kieselsäure wird von der Pflanze aufgespeichert zu einem unbekannten Zwecke (vielleicht zur Erhöhung der Festigkeit).

Wenn man bedenkt, dass das Wasser nicht ganz 0,01 % Mineralbestandteile (insgesamt) enthält, so wird man beim Durchmustern der Pflanzenanalyse unwillkürlich an die fabelhaften Verdünnungen erinnert, aus denen lebende Algen noch Kupfer- oder Quecksilbersalze zu speichern vermögen. Besonders ist dies der Fall bezüglich der Phosphorsäure, von welcher in der Analysentabelle gar nichts steht, wiewohl jene zweifellos in der betr. Pflanze in grosser Menge enthalten ist; sie muss natürlich auch im Wasser dagewesen sein, wenn auch in unnachweisbar geringer Menge. Die Phosphorsäure ist ja auch oft im Boden in so geringer Menge da, dass sie chemisch fast nicht mehr nachgewiesen wird. Trotzdem weiss sich die Pflanze derselben zu bemächtigen und sie in erheblicher Menge in sich aufzuspeichern.

Offenbar erfolgt durch die Assimilation dieser Bestandteile ein Unlöslichwerden, wodurch dann immer neue kleine Quantitäten der betreffenden Stoffe in den lebenden Pflanzenkörper hineindiosmieren.

Völlig verschieden von den soeben betrachteten Aufspeicherungsvorgängen durch die Zelle sind die Wirkungen sehr verdünnter Lösungen von Koffein<sup>1)</sup>, kohlensaurem Ammoniak, Ammoniak und überhaupt sehr geringen Mengen von Basen auf manche lebende Zellen. Es sind chemische Reizwirkungen.

Unter Reizwirkungen versteht man bekanntlich solche, bei denen keine bestimmte quantitative Relation zwischen Ursache und Wirkung besteht. Durch ein oft geringes auslösendes Agens wird eine mehr oder weniger starke Wirkung (Bewegung der Mimosablätter oder der Drosera-Tentakeln, Kontraktion des Protoplasmas etc.) hervorgerufen.

Schon Spuren von kohlensaurem Ammoniak reichen aus, um die Einkrümmung der Drosera-Tentakeln, zugleich aber auch die „Aggregation“ des Zellinhaltes hervorzurufen.

Hört der Reiz auf, so gehen beide Reaktionen wieder zurück; der Tentakel schlägt sich zurück, die Protoplasmaaballen lösen sich wieder in dem Zellwasser auf. Schon daraus allein kann geschlossen werden, dass es sich bei der „Aggregation“ nicht, wie A. B. Frank meint (Lehrb. d. Bot. S. 463), um eine Gerinnung der Eiweissstoffe handelt; denn diese geht nie zurück.

1) Nur bei Gerbstoffanwesenheit wird das Koffein gespeichert (als gerbsaures Koffein).

Aber auch die erneute Reizbarkeit, das Fortdauern der lebendigen Beschaffenheit weist bestimmt darauf hin, dass keine Gerinnung vorliegt. Geronnenes Eiweiss ist niemals der Träger des Lebens.

Ferner sieht sich geronnenes Plasma-Eiweiss ganz anders an; es ist opak und nicht flüssig. Jene Plasmaballen haben aber eine mindestens halbflüssige Beschaffenheit, wie aus ihrer abgerundeten Form hervorgeht; sie sind ferner klar durchsichtig.

Dass die vom Verfasser an Spirogyren und verschiedenen anderen Objekten bei Einwirkung sehr geringer Mengen von Basen eintretenden Erscheinungen an jene „Aggregation“ bei *Drosera* sich anreihen, geht aus dem Umstande hervor, dass auch sie durch geringste Mengen von basischen Stoffen vollständig zur Entfaltung kommen und durch Einbringen der Objekte in frisches Wasser wieder zurückgehen können.

Bei Spirogyren und anderen gerbstoffhaltigen Pflanzenzellen ist nur zu berücksichtigen, dass Koffein (nicht aber Ammoniak oder kohlen-saures Ammoniak) mit Gerbstoff einen Niederschlag gibt. Dem in Aggregationserscheinungen erfahrenen Forscher wird es nicht schwer sein, die Fällung von der „Aggregation“ zu unterscheiden.

Der Gerbstoff hat seinen Sitz immer ausschliesslich im Zellsaft, niemals im Plasmasmauch oder sonstwo.

Bei so grossen Zellen, wie es die Spirogyrenzellen sind, gelingt die richtige Erkenntnis der Lokalisation von Aggregationsausscheidungen ziemlich leicht, wenn man sich nach Einwirkung des kohlen-sauren Ammoniaks oder des Koffeins der Plasmolyse bedient.

Lässt man z. B. auf Spirogyren, die reich an Aggregations-substanz (aktivem Eiweiss) sind, zuerst eine sehr verdünnte Lösung von kohlen-saurem Ammoniak einwirken, bis sich die „Aggregation“ zeigt, dann sofort 10 %ige Salpeterlösung, so befinden sich die Ausscheidungen häufig ausserhalb des Tonoplasten (der Vakuolenwand); sie gehören also nicht dem Zellsafte an.

Die Ablösung des (isolierten) Tonoplasten erfolgt nur dann, wenn die äussere Hautschicht des Plasmas schon abgestorben ist, was durch 10 %ige Salpeterlösung leicht geschehen kann. Wäre die äussere Hautschicht nicht abgestorben, so würde die Plasmolyse eine Kontraktion des ganzen Protoplasten (äussere Hautschicht und Mittelschicht und innere Hautschicht oder Vakuolenwand) zur Folge haben.

Der Tonoplast ist, wie schon H. de Vries vor längerer Zeit hervorgehoben hat, meist viel widerstandsfähiger gegen chemische

und sonstige Einwirkungen als das übrige Plasma. Er muss es auch sein, da er mit dem mit Säuren, Gerbstoff etc. beladenen Zellsaft fortwährend in Berührung ist.

Merkwürdigerweise gelingt nun auch öfters mit 0,1 %iger Koffeinelösung die erwähnte Isolierung und Kontraktion des Tonoplasten; häufig teilt er sich dabei auch noch in zwei oder mehrere Blasen. Offenbar stirbt bei längerer Einwirkung von 0,1 %igem Koffein die äussere Hautschicht ab. Der Tonoplast reagiert dann allein noch auf die 0,1 %ige Koffeinelösung mit Kontraktion etc. Letztere kann natürlich in diesem Falle nicht als plasmolytischer Vorgang betrachtet werden, da die Konzentration des Koffeins hierfür viel zu gering ist. Es bleibt nur die Annahme einer „Reizwirkung“ übrig.

---