

## II. Studien zur Biologie der Zellen.

### 2. Zelltod und Strukturspannung.

Von Dr. S. v. Prowazek.

Aus dem „Instituto Oswaldo Cruz“ in Manguinhos. Leiter Dr. O. Cruz.  
Rio de Janeiro.

Die Methodik für ein erfolgreiches Experimentalstudium der Oberflächenspannung der Zellen ist in der letzten Zeit in mannigfacher Weise bereichert worden und wir können uns auf Grund von Ausbreitungserscheinungen der flüssigkolloidalen Protoplasten an Wassertropfen (*Stentor*, *Ranacier*) oder an Luftblasen, sowie auf Grund ihres Verhaltens in osmotisch wirksamen Substanzen ein ungefähres Bild von der Natur der äußeren Umgrenzung der Zellen machen. Wesentlich erschwert wird aber in diesem Sinne das Studium der Spannungszustände im Entoplasma bzw. im Inneren des Protoplasten überhaupt, obzwar auf Grund der hier bereits mitgeteilten Versuche mit Saponin, 1% cholalsauerem Natron, Galle etc., kein Zweifel mehr darüber bestehen kann, dass auch im Inneren der Zellen eine sogen. morphogene Strukturspannung bestehen muss, an der die Zell-Lipoide wesentlich beteiligt sind. Durch Hervorbringen kolloidaler, flüssiger Einschlüsse im Plasma von Protozoen, deren Spannungszustände hernach studiert wurden, konnten wir experimentell in diesem Sinne einen kleinen Schritt vorwärts tun.

Züchtet man nämlich Protozoen wie Amöben (der *Limax*-Gruppe), Colpidien, Paramäcien, *Blepharisma*, *Acineta*, *Stylonychia pustulata* in  $\frac{1}{2}$ —1% Lezithinlösungen, so entstehen meist bereits nach 24 Stunden zahlreiche lipidartige Tröpfchen im Protoplasma dieser Protisten. Leider verderben die Lezithinlösungen sehr leicht und sind im chemischen Sinne durchaus nicht einheitlicher Natur; 1% Lezithinlösungen der Marke „Agfa“ sind für Paramäcien mitunter bereits giftig und man muss sie daher langsam in Zwischenräumen hinzufügen, besser eignet sich das Kahlbaum'sche Lezithin. Durch die erwähnten Tröpfchen, die besonders bei *Paramaccium* ein dunkles Aussehen der Organismen bedingen, wird die Zyklose im Entoplasma der Infusorien sehr verdeutlicht.

Die Tröpfchen besitzen infolge ihrer Kleinheit eine große Oberflächenspannung, trotzdem können sie sich zu größeren Tropfen nicht vereinigen, da derartigen Vorgängen die innere Strukturspannung der Zelle entgegenarbeitet. Beim Zerfließen der Colpidien unter Deckglasdruck oder in einem noch günstigeren Falle, sobald von der Seite des Präparates eine Luftblase vorrückt und die Protisten zum Zerfließen veranlasst, kann man dagegen unter Umständen eine Vereinigung dieser Lipoidtröpfchen direkt beobachten.

Im letzteren Falle vereinigen sie sich, während das Protistenplasma als Flüssigkeit an der Oberfläche der Blase sich etwas ausbreitet, zu länglichen oder linsenförmigen Tröpfchen, die der Blasenoberfläche anliegen (Fig. 1).

Sobald die Protisten abzusterben beginnen und die innere Zellspannung unter Lipoidauflösung der Zellstrukturen aufhört, vereinigen sich die Tröpfchen infolge einfacher physikalischer Gesetze gleichfalls zu größeren Tropfengebilden. Für das Wesen der Todeserscheinung als einer Auflösung der Strukturspannung in erster Linie ist ferner von Wichtigkeit, dass die Tropfenvereinigung bei Amöben, vor allem bei Paramäcien und Colpidien in gleicher Weise erfolgt, ob die Protisten nun durch Sauerstoffmangel (Ersticken), Wärme (Paramäcien über 42° C.), Zerfließenlassen (Paramäcien), Chinin (Paramäcien 1 : 10000—20000, Lezithinamöben 1 : 20000—40000), Nikotin (Paramäcien 1 : 100), Neutralrot (Paramäcien ca. unter 1 : 10000, durch Alkohol (1 : 100), oder im Laufe der Zeit im Lezithin (Paramäcien Agfalezithin 1% +) selbst zum Absterben gebracht werden.

Fig. 1.



Am spätesten treten bei *Paramaccium* die gröberen Tropfen beim Absterben in osmotisch wirksamen Substanzen, wie in 1% Kochsalzlösung auf; die Paramäcien zerplatzen zunächst in diesem Falle und es treten auf der Peripherie größere, paraplastische Tropfen auf; mitunter bilden sich die Tropfen erst nach 12—24 Stunden aus. Die osmotisch wirksamen, schrumpfenden Zellgifte sollen jedoch später studiert werden. —

Das 1% Lezithin als Kulturmedium absorbiert viel von dem Chinin, Neutralrot und Nikotin und so ist es erklärlich, dass Paramäcien, die durch Chinin in Verdünnungen von 1 : 20000 abgetötet werden, mehrere Stunden in Chininlezhithinlösungen 1 : 20000 leben können. Das gleiche gilt auch vom Neutralrot.

Lezithincolpidien leben in Neutralrot 1 : 1000, vermehren sich in Lösungen von Neutralrot 1 : 2000 nach 48 Stunden; besonders lebhaft ist die Vermehrung in Lösungen von 1 : 10000. Auffallenderweise reduzieren die Colpidien innerhalb einer Woche das Lezithinneutralrot (1 : 4000—20000) etwas, färben sich aber so gut wie gar nicht mehr. Wäscht man dagegen durch Zentrifugieren und sukzessives Verdünnen das Lezithin aus der Kulturflüssigkeit aus, so sterben die lezithinierten Paramäcien manchenmal selbst

in Lösungen von Chinin 1 : 80000 ab, während sie ohne Lezithineinschlüsse noch leben. Offenbar reißt das intrazelluläre Lezithin das Gift an sich und gibt es später ab. Das Auswaschen des Lezithins ist eine allerdings technisch schwierige Prozedur, bei der oft die Infusorien geschädigt werden und dann für den Versuch nicht geeignet sind.

Sowohl Neutralrot als auch Chinin muriaticum fällen das 1% Lezithin und zwar gibt Chinin in Lösungen 1 : 800 : 1000 : 2000 : 4000 nach 24 Stunden deutliche Ausflockung, die stufenweise abnimmt und bei 1 : 10000 ausbleibt. Bei 1 : 400 treten größere Lezithintropfen auf, die auf der Oberfläche schwimmen. Die verschiedenen Lezithinpräparate liefern allerdings etwas abweichende Resultate.

Neutralrot fällt 1% Lezithin von 1 : 100 stufenweise bis 1 : 4000 — 6000. Die Fällungszone für Neutralrot ist etwas anders als für Chinin.

Die erwähnten Lezithinflocken binden das Chinin und Neutralrot im physikalischen Sinne. Vergrößert man nämlich die Tröpfchen durch kurzes Erwärmen auf 57—60° C<sup>1)</sup> und lässt das Sediment längere Zeit stehen, so geben die sich vergrößernden Tröpfchen die Giftstoffe wie Neutralrot, 1 : 2000 wieder ab, das Medium färbt sich mit Neutralrot lebhafter und tötet nach einiger Zeit die Paramäcien bei 1 : 2000 ab, während sie in dem unvorbehandelten Sediment noch mehrere Stunden am Leben bleiben; Colpidien vermehren sich sogar im letzteren Falle nach 24 Stunden, während in dem erwärmten Sediment alles im Verlaufe von einigen Stunden abgetötet wird. Deutlicher fällt dieser Versuch bei Anwendung von Chinin aus; Colpidien leben in dem Chininlezithinsediment 1 : 800 ca. 1 Stunde, 1 : 1000 ca. 2 Stunden, in 1 : 2000 können sie sich sogar nach 24 Stunden etwas vermehren, sterben dagegen in dem erwärmten, also gröberem Sediment 1 : 800 nach 20 Minuten, in 1 : 1000 nach 1 Stunde, in dem erwärmten Sediment von 1 : 2000 leben nach 24 Stunden unter Umständen nur ganz wenige Protozoen. Die über dem Sediment befindliche Flüssigkeit tötet Colpidien in den Chininverdünnungen 1 : 800 nach 20 Minuten, 1 : 1000 nach 1 Stunde (Mehrzahl) ab. Normal werden Colpidien vom Chinin bereits in Verdünnungen 1 : 6000 nach ca. 1/2 Stunde abgetötet.

---

1) Technische Notiz: Das möglichst konzentrierte Sediment erwärmt man auf höchstens 60° C. in einer Kapillare, da sich die größeren Tropfen derart besser bilden. Bei 70° entstehen im Lezithinneutralrot myelinartige Figuren, die selbst Neutralrot speichern und dann den entgegengesetzten Effekt zur Folge haben. Es müssen sich unter allen Umständen mikroskopisch kontrollierbare, größere Tropfen von Lezithin aus dem Sediment bilden.

Aus mir unbekanntem Gründen entstehen manchmal spontan größere Tropfen, die natürlich in gleicher Weise die Protozoen abtöten. Die Versuche müssen sorgfältig mit Kontrollen angestellt werden, da sie nicht immer gelingen.

Die Giftstoffe waren demnach nicht chemisch, sondern nur physikalisch gebunden; die Absorption steht in einer Beziehung zur Oberflächenspannung der Tröpfchen, werden die Tropfen größer, wobei die Spannung verringert wird, so nimmt die Konzentration an ihrer Oberfläche zu und die Giftstoffe werden leicht von den Zell-Lipoiden der Paramäcien und Colpidien an sich gerissen. Bei einer kleinen *Limax*-Amöbe konnte ein analoger Vorgang in vivo in der Zelle selbst beobachtet werden; durch die lebhaften Kriechbewegungen verschmolzen die Lezithintröpfchen zu größeren Gebilden und gaben dann das Chinin, das sie gebunden hatten, auf der Oberfläche ab. Die Amöben rundeten sich sodann in Chininlösungen 1 : 40000 ab, hafteten nicht mehr auf der Unterlage und starben nach ca. 24 Stunden, während in den Kontrollen (Chinin 1 : 40000) ohne Lezithinzusatz sowohl die Amöben als auch *Polytoma*, *Colpidium* und *Chilomonas* noch weiter lebten. Die Lezithintropfen speicherten in tödlicher Dosis das Chinin, gaben es aber erst mit der Abnahme der Spannung von ihrer Oberfläche ab. Wichtig scheint besonders das Absorptionsvermögen der Giftstoffe an den Oberflächen der Zelleinschlüsse zu sein, in gleichem Sinne ist von Dauve, Hofmeister u. a., auch das Absorptionsvermögen der Enzyme und verschiedener Kolloide an verschiedenen Oberflächen betont worden.

Die Zelle hat es gleichsam in der Gewalt, durch strukturelle Änderungen der Einschlüsse und Vakuolen im physikalischen Sinn verschiedene Stoffe an verschiedenen Stellen des Protoplasmas in den chemischen Betrieb einzuleiten oder wieder aus ihm zu nehmen.

Nach Metcalf (Zeitschr. f. physik. Chem. 1905) treten die Reaktionen an der Oberfläche der Lösungen auf, die deren Oberflächenspannung herabsetzen und die fraglichen Stoffe sammeln sich hier in Form von unlöslich fester Substanz an. In dieser Weise wäre uns auch das Auftreten der verschiedenen Cavula in Protistenzellen (*Pelomyxa*, Stole), sowie in Metazoenzellen (Salamanderdrüsen) bis zu einem gewissen Grade verständlich. —

Nach früheren Untersuchungen von Giemsa und mir (Verh. d. Deutsch. tropenmed. Gesellsch. 1908) erleidet das Protoplasma der Infusorienzelle bei Chinineinfluss (1 : 6000) zunächst eine tropfige Entmischung, der Kern dagegen zum Teil eine globulitische Ausfällung; die dem Chinin ausgesetzten Colpidien stoßen nach den Exportgesetzen (Rhumbler) die Nahrungsvakuolen aus und der Körper wird infolge der nachlassenden Strukturspannung aufgebläht. Auch *Stylonychia pustulata* rundet sich in gleicher Weise wie vor der Enzystierung ab.

Die Ergebnisse dieser Beobachtungen lauten folgendermaßen:  
Sowohl Neutralrot als Chinin fällen 1 % Lezithin in Verdünnungen von 1 : 100 bezw. 1 : 400—1 : 4000 (6000); das Sediment speichert im

physikalischen Sinne die giftig wirksamen Lösungen und gibt sie nach Erwärmung auf 60° C unter Zusammenfließen zu größeren Tropfen und Abnahme der Oberflächenspannung an die Protisten ab, die sodann früher abgetötet werden. Unter Umständen kann dieselbe Erscheinung auch im Organismus des Infusors eintreten (*Limax*-Amöbe). Durch die Aufnahme des Chinins, Neutralrots und Nikotins in die im Inneren der Zelle vorkommenden Lipide, die hauptsächlich die sogen. innere Strukturspannung bedingen, wird diese je nach der Konzentration der Stoffe verändert (Entmischung) oder aufgehoben, die Infusorien blähen sich auf und die künstlich in ihnen durch die Kultur auf  $\frac{1}{2}$ —1% Lezithin erzeugten Tröpfchen treten zu größeren Tropfen zusammen. Der Tod der Zelle ist innig verbunden mit der Aufhebung der inneren Strukturspannung und die Agglutination der Lezithintröpfchen, sowie ihre Vergrößerung tritt auch bei Wärmeeinfluss Ersticken, Alkohol, Kochsalz, Zerfließen etc. ein.

Eine Art Entmischung und zentrale Agglutination der Dotterkörnchen wurde auch in toten Seeigeleiern bei Zusatz von Spermaextrakt, Ultrafiltrat aus Spermatozoen, Brillantkresylblau und spezifischem Eiserum etc. beobachtet. Hypothetisch ziehe ich aus diesen Beobachtungen den Schluss, dass in den meisten Fällen das Todesphänomen der Zellen nicht so sehr in erster Linie ein chemischer Vorgang als ein physikalischer Prozess ist, durch den die verschiedenen kleinen chemischen Strukturlaboratorien in der Zelle eingerissen und die spezifisch abgestuften chemischen Vorgänge in der Zelle in ihrer Art unmöglich gemacht werden. Der Zelltod meldet sich unter allen möglichen Umständen, die die spezifische Strukturspannung beheben, in derselben Art zu Wort. Der stets arbeitfähige dynamische Gleichgewichtszustand der Organismen (Du Bois-Reymond, Haeber) ergibt sich aus den stetig sich ändernden physikalischen Strukturspannungen des Plasmakolloids, die demnach den Zustand des Lebens bedingen, ein echter chemischer Gleichgewichtszustand wäre allein zu diesen beständigen Arbeitsleistungen ohne Systemverschiebungen von außen unfähig.

Die gegen eine spezifische Morphe gerichteten Einflüsse können entweder äußerer (Druck, Wärme, sogen. Protoplasmagifte) oder auch innerer Natur (Altersdegeneration, Ausflockung der Kolloide etc.) sein und in der Zelle selbst ruhen. So wurden aus einem Individuum längere Zeit Colpidien gezüchtet, die schließlich der Degeneration anheimfielen, wenig Cilien besaßen und ihre normale Gestalt unter Abrundungserscheinungen einbüßten. Indem die innere Strukturspannung nachläßt, können die Protoplasmainschlüsse und Kerne agglutinieren wie bei Myxosporidien (Keysselitz, Arch. f. Protistenkunde 11) *Trichosphaerium* (Schaudinn) und *Pelomyxa*

(Stolc). Im Alter verändern sich auch die Zell-Lipide und die Zellen werden nach Zangger (Korrespondenzbl. f. Schweizerärzte, XXXVIII, 1908) mit fortschreitendem Alter reicher an ungesättigten Fettsäuren, nach Bredig (Anorganische Fermente 1901) „altern“ auch die Kolloide unter Beimengungen von Elektrolyten und flocken aus (Hysteresis). Nach Kotkovsky (Arch. Se. sc. Biolog. St. Petersburg 1896) nehmen wohl infolge einer Lipidentmischung ätherlösliche Substanzen in absterbenden Zellen an Menge zu.

Über das Verhalten des Kernes beim Absterben der Zellen soll später berichtet werden, bei diesen Untersuchungen wurde er zunächst nicht berücksichtigt.

---

## Jahresbericht über das Gebiet der Pflanzenkrankheiten.

Unter Mitwirkung (verschiedener Gelehrter) herausgegeben von M. Hollrung.

9. Band: Das Jahr 1906. Berlin, P. Parey, 1908, 8°, 298 S., 15 Mk.

## Jahrbuch für wissenschaftliche und praktische Tierzucht einschliesslich der Züchtungsbiologie.

Unter Mitarbeit (verschiedener Gelehrter) herausgegeben von R. Müller. 3. Jahrg., Hannover, M. & H. Schaper, 1908, 8°, 227 S., 9 Mk.

Es sei Referent gestattet, an dieser Stelle wiederum auf die beiden genannten Jahresberichte über angewandte Biologie hinzuweisen (s. Biol. Centralbl. Bd. 28, S. 62–64), da gerade diese Disziplin ungemein viele und wertvolle Beiträge zur Lösung allgemein-biologischer Fragen bringt, die entsprechende Literatur aber den „reinen“ Biologen meist unbekannt oder schwer zugänglich ist, so dass gerade hier derartige Jahresberichte doppelt schätzenswert sind.

Die allgemeine Bedeutung der Phytopathologie beruht in dem Studium des Einflusses der verschiedensten äußeren Einwirkungen auf Pflanzen. Die Kulturpflanzen geraten schon allein durch ihre Kultivierung unter Bedingungen, die von den natürlichen abweichen. Der Zweck der Kultur ist größtmögliche Ausbildung bestimmter, dem Menschen nützlicher Eigenschaften, meist unter völliger Vernachlässigung anderer, im Kampfe ums Dasein wichtigerer. Die Pflanze wird so in ihrem Gleichgewichtszustande gestört. Bedingt diese Störung an sich schon eine Schädigung, so bieten die vernachlässigten Eigenschaften den schädigenden äußeren Einflüssen zahlreiche günstige Angriffspunkte. Dazu kommt noch die allgemeine Verweichlichung als Folge der Kultivierung. Es ist daher die Kräftigung der ganzen Pflanze durch entsprechende Pflege auch der nicht gerade nutzbaren Eigenschaften eine immer mehr an Bedeutung gewinnende Maßnahme. So begnügt man sich jetzt nicht nur mit einer Düngung der Obstbäume, die auf die Fruchtbildung förderlich einwirkt, sondern man gibt ihnen immer mehr Kalk und

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: [29](#)

Autor(en)/Author(s): Prowazek Stanislaus von

Artikel/Article: [II. Studien zur Biologie der Zellen. 2. Zelltod und Strukturspannung. 291-296](#)