

Nochdruck verboten.  
Übersetzungsrecht vorbehalten.

## Gestaltsänderung und Plasmoptyse.

Von  
**Ludwik Garbowski.**

(Hierzu Tafel VI.)

---

So unvollständig und lückenhaft das Mitzuteilende ist, so wage ich doch, es zu veröffentlichen, einmal deshalb, weil ich verhindert bin, das Thema weiter und genauer zu verarbeiten, und zweitens, weil auch die erhaltenen Resultate manchen Lichtstrahl in das abenteuerliche Gebiet der Plasmoptyse zu werfen, manches Mißverständnis aufzulösen imstande zu sein scheinen

Die vorliegenden Untersuchungen habe ich als Stipendist des Galizischen Landesausschusses im botanischen Universitätslaboratorium in Basel ausgeführt.

---

### **Vibrio proteus.**

#### **I. Heuinfuskulturen.**

Kultiviert man *Vibrio proteus* in einer alkalischen zuckerhaltigen Nährlösung, z. B. im Heuinfus, der mit Zucker und etwas Sodalösung versetzt ist, so bemerkt man, daß die Alkalität der Kulturflüssigkeit allmählich abnimmt, bis im Moment der maximalen Entwicklung (Trübung) ein Umschlag der Reaktion eintritt: die Flüssigkeit wird sauer und bleibt es bestehen; die weitere Entwicklung der Organismen wird gehemmt und die schon vorhandenen Individuen vergehen allmählich, was sich äußerlich durch die Klärung der Kulturflüssigkeit kennzeichnet. Diese Säurebildung ist von der Menge des vorhandenen

Zuckers direkt abhängig, wovon man sich überzeugen kann, indem man die Entwicklung des Organismus in Lösungen von verschiedenem Zuckergehalte verfolgt. Die Entwicklung ist aber auch in hohem Maße von der Menge des ausgesäten Materials abhängig. Man muß daher dafür sorgen, eine möglichst gleichmäßige Aussaat vorzunehmen, wenn man vergleichbare Resultate erhalten will. Zu diesem Zwecke habe ich so verfahren, daß ich mir zuerst eine Aufschwemmung des zur Aussaat bestimmten Materials in etwas Nährflüssigkeit darstellte, und erst von dieser in bekannter Weise mit der Öse überimpfte. Es kam zur Untersuchung alkalischer Heuinfus ohne Zucker, mit 0,1, 1 und 10 Proz. Zuckerzusatz. Die 10proz. Lösung war nach 14 Stunden (bei 32°) deutlich getrübt und wies auch schon eine schwachsaure Reaktion auf, während zu dieser Zeit in der 1proz. Lösung nur eine ganz schwache Trübung zu bemerken war, und die Flüssigkeit reagierte hier ebenso wie in den äußerlich nicht veränderten anderen Röhrchen noch deutlich alkalisch. Eine schwachsaure Reaktion in der 1proz. Lösung konnte man erst nach 40 Stunden wahrnehmen, die 0,1proz. Lösung — gleichzeitig untersucht — war neutral, beide zeigten eine deutliche Trübung, während Heuinfus ohne Zuckerzusatz noch alkalisch reagierte und nicht getrübt war. Ein oder zwei Tage später tritt auch in der letzten Kultur ein Umschlag der Reaktion ein und die geringe (wegen Nährstoffmangel) Trübung verschwindet allmählich.

Die mikroskopische Untersuchung einer frisch geimpften flüssigen Kultur von *Vibrio proteus* zeigt in den Anfangsstadien der Entwicklung fast nur die gewöhnlichen Vibrionenformen. In den mehr konzentrierten Nährmedien (10proz. Lösung) teilen sich die Vibrionen rascher und vollständiger.

Man sieht hier selten längere Ketten zusammenhängender Individuen, es überwiegt vielmehr die Gestalt der einzelnen — meist eben in Teilung begriffenen — Vibrionen; hier und da trifft man nicht lange, aus einigen Individuen (4—6) bestehende Kettchen.

In einer verdünnten Lösung (Heuinfus ohne Zucker) kommen die längeren Ketten viel öfter vor — offenbar infolge der gehemmten Entwicklung wegen Mangel an Nährstoff — und die Einzelindividuen sehen im Vergleich mit denjenigen der besser gezüchteten Familie kümmerlich aus.

Nach einigen Stunden<sup>1)</sup> erscheinen in den Kulturen rundliche Gebilde, deren einige mit längeren oder kürzeren Anhängseln versehen sind; diese haften wie Schwänzchen an den unruhigen

<sup>1)</sup> Eine genaue Zeitangabe hat nach dem, was oben gesagt, keinen praktischen Wert.

Kügelchen und werden von ihnen mitgeschleppt (Taf. VI Fig. 1). Das Ganze macht den Eindruck eines eigentümlich gestalteten einheitlichen Organismus. Zuweilen gelingt es, Gestalten zu beobachten, deren Zustandekommen auf den ersten Blick ganz rätselhaft erscheint, z. B. eine große Kugel, an der eine lange Kette haftet oder Kugeln mit zwei, drei oder mehr Anhängseln zugleich (Taf. VI Fig. 2). Gleichzeitig sieht man, daß die Vibrionen immer mehr aufgeblähte Formen aufweisen bis zu vollkommen abgerundeten Kugeln, welche oft an der Oberfläche ein oder zwei hervorragende Körnchen tragen. Die Kugeln erscheinen später immer zahlreicher, sind unbeweglich und bilden scheinbar das letzte Stadium einer eigentümlichen degenerativen Entwicklung, welche sich im Kulturmedium abspielt. In einer wieder fast durchsichtig gewordenen zuckerhaltigen Hefeinfuskultur sind keine beweglichen Formen mehr, nur die ruhig liegenden Kügelchen und einige dünne schwach gewundene Vibrionen, die fast Stäbchenform besitzen, zu sehen. Dieser Zustand trat z. B. in einer 10proz. Zuckerlösungskultur am fünften Tage ein.

Der geschilderte allgemeine Entwicklungsgang gilt für die Bruttemperatur 32°. In Kulturen, welche bei Zimmertemperatur (ca. 20°) gehalten werden, tritt die Kugelbildung viel später und nur teilweise ein, so daß sogar in alten Kulturen noch viele Vibriongestalten sich finden.

Es fragt sich nun, wie entstehen die kugeligen Gestalten aus den normalen Vibrionenformen? Kommt hier eine Abrundung mit einer gewissen Aufblähung der Bakterienzelle zustande (Ansicht von Professor AR. MEYER in Marburg), oder sind die beweglichen runden Gebilde die von den Vibrionen ausgeschiedenen sogenannten Plasmoptysekugeln (Ansicht von Professor ALFRED FISCHER in Basel)<sup>1)</sup>?

## II. Versuche mit Wirkung von Ammoniak und Essigsäure.

Die direkte Beobachtung im Hängetropfen, mag sie auch so lange und mit der größten Geduld vorgenommen werden, gibt keinen Aufschluß über die Entstehung der runden Gebilde aus den gewöhnlichen Vibrionen, denn die ersten Kügelchen, die zum Vorschein kommen, werden aus beweglichen Individuen gebildet und diese lassen sich in ihren Formveränderungen nicht verfolgen, die später erscheinenden ruhigen runden Individuen sind zwar durch ovale Zwischenformen mit den länglichen Gestalten verbunden, ihre Ent-

<sup>1)</sup> Siehe Ber. d. Deutsch. bot. Ges. 1905—1906.

stehung aus den letzteren läßt sich aber unmittelbar nicht beobachten: überhaupt alle Gestalten im Hängetrophen verhalten sich in dieser Beziehung träge.

Da die Formveränderungen allem Anschein nach mit der allmählichen Säuerung des Kulturmediums im Zusammenhange stehen, so wäre vor allem die Wirkung von Säure und Alkali auf die Vibrionen zu untersuchen. Als Säure kam Essigsäure, als Base kam Ammoniak zur Anwendung. Die Beobachtung geschah auf folgende Weise. Das Deckgläschen mit einem Hängetrophen von 2 bis 3 mm Durchmesser wurde auf dem Objektträger mittels Fett so aufgeklebt, daß zwischen beiden ein Spalt von etwa  $\frac{1}{8}$  mm Dicke freibleib (die Spaltweite kann durch Unterlegen eines Papier- oder Kartonstreifens beim Aufkleben des Deckgläschens richtig und immer gleich gehalten werden). In diesen Spalt kam nun das entsprechende wirksame Agens, welches so den Verschuß der kleinen feuchten Kammer ausmachte. Auf solche Weise konnte die Wirkung der Säuerung resp. Alkalisierung des Mediums auf die Gestalt der Organismen vom ersten Moment an beobachtet werden, was eben der Zweck dieser Versuche war.

Es wurden untersucht die verschiedenen Heuinfuskulturen (0, 0,1, 1 und 10proz. Zuckerlösungen) in verschiedenen Stadien ihrer Entwicklung. Die Stärke der zur Anwendung gekommenen Lösungen variierte zwischen 0,01 bis 1 Proz.  $\text{CH}_3\text{COOH}$ - resp.  $\text{NH}_3$ -Gehalt (vom Acid. acet. glaciale und Liquor ammonii caustici, der für 20 Proz. angenommen wurde, ausgehend).

Das allgemeine Resultat, welches sich von einer größeren Anzahl einzelner Beobachtungen ziehen ließ, ist folgendes:

In einer gewissen Wachstumsperiode, welche dem Zeitpunkt der maximalen Entwicklung (Trübung) vorangeht, als noch fast nur die normal geformten Vibrionen vorhanden sind und ihre Lebensfreude in den regen Bewegungen äußern, sind die Organismen besonders empfindlich, sowohl gegen eine Säure-, wie Ammoniakwirkung. Dieser Zeitpunkt kann schon nach 16 bis 20 Stunden (z. B. in einer 10proz. Zuckerlösungskultur bei  $32^\circ$ ) aber auch viel später (erst nach 40 Stunden in einer 1proz. Zuckerlösungskultur) eintreten. Im Hängetrophen aus einer solchen Kultur, die sich eben trübt, aber noch alkalische Reaktion aufweist, läßt sich durch längere Einwirkung der Essigsäure- resp. Ammoniakdämpfe die Erscheinung einer deutlichen, wenn auch nicht allgemeinen Plasmoptyse hervorrufen. Die Konzentrationen der frisch bereiteten Säure- und Ammoniaklösungen, welche sich in der gewünschten Richtung erfolgreich erwiesen,

schwankten zwischen 0,1 bis 0,5 Proz., wobei allgemein, wegen der alkalischen Reaktion des Mediums selbst, eine stärkere Säure- (etwa 0,2 Proz.) als Ammoniakkonzentration (0,1 Proz.) nötig war. Die Konzentration der Säure konnte manchmal bis zu 1 Proz. gesteigert werden, während eine gleich starke Ammoniaklösung schon immer tödlich wirkte. Kurz nach dem Einlassen der Säurelösung in den Spalt bemerkt man eine fast allgemeine Hemmung der Beweglichkeit. Nach Verlauf einer gewissen Zeit, manchmal schon nach 10 bis 20 Minuten, manchmal aber erst nach  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{3}{4}$  Stunden und darüber läßt sich bemerken, daß an den Enden einiger weniggliedriger Kettchen entweder einseitig, oder seltener von beiden Seiten winzige Pünktchen entstehen. Wegen der außerordentlichen Kleinheit der Objekte (gearbeitet wurde mit LERTZ-Immersion und Okular 3) läßt sich das Auftreten dieser Pünktchen nicht eher bemerken, bis ihr Durchmesser die Dicke des Stäbchens eben zu übertreffen beginnt. Es wird auch die Beobachtung der Entstehung dieser Gebilde ganz bedeutend durch fast regelmäßiges Auftreten dunkler Körnchen an den Spitzen der Vibriolen erschwert. Immerhin lassen sich folgende Stadien notieren (Taf. VI Fig. 3):

a) ein liegendes Stäbchen von gleichmäßiger Dicke mit dem erwähnten sich abhebenden schwärzlichen Inhalt an den Enden;

b) an einem oder an beiden Enden tritt ein dunkles Körnchen mehr hervor, wobei man gleichzeitig den Eindruck einer kleinen Schwellung an dieser Stelle bekommt;

c) die Schwellung wird ganz deutlich und es entsteht an der Beobachtungsstelle ein Kügelchen, dessen Durchmesser die Stäbchendicke zwei bis drei bis mehrmals übersteigt.

Der Übergang von b zu c kann zuweilen direkt verfolgt werden. Man sieht alsdann, wie im Verlauf einer kurzen Zeit (etwa 2 bis 3 Minuten) das Körnchen sich zum Kügelchen aufbläht, wobei die Stäbchendicke scheinbar etwas abnimmt. Mit einem Ruck läßt sich zuweilen diese Kugelbildung durch Ersetzen der Säure in der Spaltöffnung mit Ammoniak zustande bringen, doch meistens wird auf diese Weise die anfängliche Säurewirkung aufgehoben und jede weitere Gestaltsänderung der Organismen paralytisch. Läßt man aber von vornherein Ammoniak allein andauernd wirken, so gelingt, wie gesagt, dasselbe wie mit Säure zu erreichen; nur wirkt Ammoniak nicht so bewegungshemmend, wie die Säure, was die Beobachtung begreiflicherweise erschwert. Es gelang mir auch viel öfter mit Säure eine deutliche Wirkung zu erzielen, als mit Ammoniak.

Wäre die geschilderte Wirkung der Essigsäure- resp. Ammoniak-

dämpfe die einzige, so könnte man vielleicht den Schluß ziehen, daß alle runden Gebilde in einer älteren flüssigen Kultur von *Vibrio proteus* auf diese Weise entstanden sind. Das ist aber nicht der Fall. Verhältnismäßig wenige Individuen lassen so deutlich die Kügelchen an ihren Enden entstehen. Die anderen — und das ist die Mehrzahl — werden in ihrer Form entweder gar nicht beeinflußt, oder aber runden sich selbst ab ohne zu plasmoptieren. Dieser letzte Vorgang tritt am besten im Hängetropfen einer solchen Kultur zum Vorschein, die neben den gestreckten Formen noch etwas aufgeblähte Gestalten enthält, welche noch deutlich ihre beiden Durchmesser erkennen lassen. Diese sind es, welche nach der entsprechenden Wirkungszeit der obengenannten Agentien zum Teil verschwinden und zu gesetzmäßig abgerundeten Kugeln werden (Taf. VI Fig. 4) mit einem oder noch öfter mit zweien an ihrer Oberfläche sich abhebenden Pünktchen. Die unmittelbare Entstehung dieser Abrundungskugeln aus den Vibrionen konnte ich bei diesen Versuchen nicht verfolgen. Es ist aber noch eine Gestalt, welche zuweilen nach der Säure- resp.  $\text{NH}_3$ -Wirkung zum Vorschein kommt und welche unzweifelhaft die Plasmoptyse anschließt, das ist die einer Reihe nebeneinander gelagerter Kügelchen, welche aus einer Kette noch nicht getrennter aufgeblähter Vibrionen entstanden ist (Taf. VI Fig. 5).

Nach dem, was gesagt ist, drängt sich schon jetzt der Schluß auf, daß die beiden Vorgänge — Abrundung und Plasmoptyse — in den Kulturen sich nebeneinander abspielen, daß vielleicht der eine (Plasmoptyse) durch den anderen (Abrundung) gedeckt wird und wenn z. B. die Bilder auf Fig. 2 gewiß für ein bloßes Anhaften von Vibrionen und Vibrionenketten an abgerundeten und aufgeblähten Kugeln sprechen, so ist wieder die Entstehung eines Kügelchens am Ende der kurzen Kettchen, wie Fig. 3 darstellt, auch bewiesen. Solche Bilder, wie Fig. 1, lassen a priori kein Urteil zu: entstand das Kügelchen aus dem ausgepreßten und aufgeblähten Inhalte des Stäbchens, oder stellt es eine Abrundungskugel dar, an welcher ein anderer Organismus nur oberflächlich festgeklebt ist.

Aus den Versuchen hat sich ferner kein prinzipieller Unterschied in der Wirkung von Essigsäure und Ammoniak auf die Formveränderung von *Vibrio proteus* ergeben. Man konnte sich mehrmals überzeugen, daß die gleichen Gestalten ebenso bei saurer wie auch bei alkalischer Reaktion des Hängetropfens auftreten.

Professor ALFRED FISCHER<sup>1)</sup> unterscheidet zwei Arten von Ab-

<sup>1)</sup> Ber. d. Deutsch. bot. Ges. Bd. XXII S. 57.

rundungskugeln bei *Vibrio proteus*. Die einen sollen sich durch  $\text{NH}_3$  wieder zu den Vibrionen regenerieren lassen, die anderen in dieser Beziehung sich träge verhalten: „Nur die reinen, anhangslosen Abrundungskugeln können durch  $\text{NH}_3$  in Vibrionen verwandelt werden, nur solche anhangslose Kugeln werden durch die Säure wiederum erzeugt. Die Kugeln mit ein oder zwei Beinchen, d. h. die echten Plasmoptysekugeln werden durch  $\text{NH}_3$  nicht verändert und unterscheiden sich dadurch sofort von den Abrundungskugeln“. „In einem Versuch wurden, mit Vibrionen beginnend, innerhalb einer Stunde dieselben Individuen dreimal zu Kugeln verwandelt und dreimal zu Vibrionen regeneriert, letzteres immer durch  $\text{NH}_3$  . . .“

Da es mir trotz zahlreicher Versuche mit den verschiedenen Kulturen in verschiedenen Entwicklungsstadien und bei Anwendung nicht nur derselben Konzentrationen von Säure und Ammoniak, wie Professor ALFRED FISCHER angibt, sondern auch noch weniger und mehr konzentrierter Lösungen kein einziges Mal gelungen ist, die Umwandlung der einen Gestalt in die andere zustande zu bringen, da ich ferner in dieser Hinsicht keinen Unterschied im Verhalten der Organismen von Heuinfus und Zuckerbonillonkultur gefunden habe, so muß ich den Eindruck, welchen Professor ALFRED FISCHER nach der „2½ Minuten“ dauernden Wirkung von Ammoniak bekommen hat, auf eine optische Täuschung zurückführen. Die von Professor ALFRED FISCHER bezeichneten „echten Plasmoptysekugeln“, die in der Tat sich nicht mehr abrunden können, weil sie schon rund sind und deshalb auch von  $\text{NH}_3$  nicht verändert werden, sind eben die echtsten Abrundungskugeln, die — wie ich später noch deutlicher zeigen werde — mit der Plasmoptyse nichts zu tun haben. Ihre „ein oder zwei Beinchen“ sind nichts anderes, als die über die Kugeloberfläche herausragenden Körnchen, deren Entstehung auch klar gemacht werden soll.

Da die beiden Vorgänge — Abrundung und Plasmoptyse — wahrscheinlich, wie gesagt, in der flüssigen Kultur nebeneinander verlaufen, so entsteht die Aufgabe, sie zu „trennen“, um jeden für sich allein studieren zu können.

### III. Abrundung und Plasmoptyse.

Es ist klar, daß die wichtigste Bedingung für die anzustellenden Experimente und Beobachtungen ein Material von möglichst gleichförmiger Gestalt war. Es kam darauf an, die im Hängetropfen sich abspielenden Vorgänge nicht an den einzelnen Individuen —

was bei der langen Beobachtungszeit leicht zu Verwechslungen führen kann — sondern an ihrer Gesamtheit verfolgen zu können. Ein solches Material liefert eine bei 32° während 20 Stunden vorgezüchtete Agarstrichkultur, die später bei Zimmertemperatur gehalten wird. Bei längerer Wirkung der Bruttemperatur tritt bald eine Degeneration ein, welche sich in der unregelmäßigen Form der Vibrionen und ihrer verschiedenen Größe mit ausgesprochener Neigung zur Verkleinerung und Verkümmerng äußert. Es treten auch die rundlichen Gestalten bei der warmen Züchtung viel früher auf, was schon bei den flüssigen Kulturen auffällt und hier ganz deutlich zum Vorschein kommt. Wird aber die Kultur rechtzeitig der Wärmewirkung entzogen, so weist sie auf der gleichmäßig bewachsenen Oberfläche fast nur die normalen gekrümmten Gestalten auf. Will man möglichst lange die Kultur in dem gewünschten Zustande behalten, so ist darauf zu achten, daß die Bakterienwuchsfläche nicht durch das Kondenswasser bespült wird; in diesem, wie überhaupt in jeder flüssigen Kultur, entstehen nämlich sehr bald die runden Gestalten, zuerst bewegliche, dann unbewegliche und bilden einen weißen Bodensatz. Dieser Unterschied im Aussehen der Gestalten von *Vibrio proteus* in demselben Agarröhrchen läßt vermuten, daß es vielleicht der Mangel an Sauerstoff, ganz besonders aber der durch die flüssige Umgebung erleichterte Diffusionsaustausch zwischen der Bakterienzelle und ihrem sich erschöpfenden Nährmedium ist, welcher die Gestaltsveränderung in erster Linie verursacht. In der Tat, das Begehren nach Sauerstoff äußert sich auch in den flüssigen Kulturen durch die Kalmhautbildung im gewissen Entwicklungsstadium und es kommt auch im Hängetrophen zum Vorschein. Den Einfluß des Sauerstoffs auf die Formveränderungen von *Vibrio proteus* habe ich nicht untersucht und mich nur auf die zweite Frage, auf die Einwirkung des Nährstoffgehaltes der flüssigen Umgebung beschränkt.

Es wurde zuerst das Verhalten der Vibrionen in Lösungen von Kochsalz, Soda, Rohrzucker, Harnstoff und Glycerin untersucht. Zu diesem Zwecke wurde eine Aufschwemmung von etwas Kulturmaterial in einigen Tropfen Leitungswasser gemacht und davon eine kleine Öse (etwa 1 mm im Durchmesser) in den Hängetrophen, welcher aus der untersuchten Lösung angelegt wurde, übergetragen. So rasch wie möglich begann die Beobachtung. Es gelangen zur Untersuchung folgende Kochsalzlösungen: 5, 1, 0,5 und 0,1 Proz. Die Wirkung der 5proz. Lösung war zu stark: die Bakterien klebten zu Haufen und blieben unbeweglich an einer Stelle. Das Verhalten in



1 und 0,5 proz. NaCl-Lösung war in der Hauptsache dasselbe: es trat sofort eine allgemeine Plasmolyse bei den Bakterien ein (Taf. VI Fig. 6); sie blieben meist unbeweglich an der Stelle, viele am Deckgläschen klebend; hier und da sah man die plasmolysierten Individuen herumschwimmen, aber schon nach 2 Stunden trat fast vollständige Ruhe ein. Nach 5 Stunden konnte man ein teilweises Zurücktreten der Plasmolyse wahrnehmen; ruhig blieben die in ihren Umrissen unveränderten Stäbchen liegen; man konnte jetzt in ihrem Innern Körnchen hervortreten sehen, gewöhnlich nur an den Enden, seltener auch in der Mitte. Dieser Zustand blieb unverändert auch nach 8 Stunden. In einem Fall, wo zur Untersuchung die mehr abgerundeten Gestalten gelangen, unter denen auch Kugeln sich befanden, sah man, wie beim Eintreten der Plasmolyse der Inhalt der Kugeln und der ovalen Gestalten sich an der Peripherie ungleichförmig ansammelte und in der Mitte eine Vakuole entstand, welche rings von einem Plasmaschlauch umgeben war (Taf. VI Fig. 7).<sup>1)</sup>

In der 0,1 proz. NaCl-Lösung trat keine Plasmolyse mehr ein. Die Stäbchen wurden nur in ihren Bewegungen anscheinlich gehemmt und klebten auch in großer Anzahl am Deckgläschen.

Ganz merkwürdige Gestalten von *Vibrio proteus* wurden in stark mit  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  alkalisch gemachten Lösungen von Zuckerbouillon <sup>2)</sup> beobachtet. Überhaupt der Organismus scheint ganz besonders für alkalisches (aber nicht  $\text{NH}_3$ -haltiges) Kulturmedium prädisponiert zu sein. Schon beim direkten Übertragen einer Spur des Kulturmaterials aus der Agarkultur in den Hängetropfen von 1 proz.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -Lösung bemerkt man, wie die Zellen nach einer kurzen Anpassungszeit die vollkommenste *Vibriogestalt* annehmen. Schlank, an den Enden zugespitzt, lassen sie die morphologischen Charakteristika der *Vibrioform* besonders deutlich hervortreten (Taf. VI Fig. 8). Man bemerkt auch, daß die Entwicklung in einer stärker alkalisch gemachten Zuckerbouillonkultur rascher und kräftiger erfolgt als ohne

<sup>1)</sup> Diese Art der Plasmolyse deutet allerdings darauf hin, daß der Protoplast bei *Vibrio proteus* vielleicht nicht ganz lose von seiner Hülle umgeben ist, wie etwa in einer *Spirogyrazelle*, sondern daß an gewissen Stellen ein mehr inniger Zusammenhang zwischen dem plasmatischen Inhalte und seiner Membran besteht. Auch die Plasmolysegebilde der normalen Vibrionen machen den Eindruck, daß an den Enden die Plasmamasse nicht bloß an die Membran anliegt, sondern vielleicht mit ihr verwachsen ist, denn es gelingt nie, ein Abheben der Membran vom Zellinhalte an dieser Stelle zu sehen.

<sup>2)</sup> Überall, wo von Zuckerbouillon die Rede ist, soll schwach alkalische Fleischwasserpeptonlösung ohne Salz, aber mit 1 Proz. Rohrzuckerzusatz, gemeint werden.

$\text{Na}_2\text{CO}_3$ -Zusatz. Es wurden z. B. zwei Zuckerbouillonkulturen angelegt, eine mit Zusatz von 0,5 ccm einer 10proz.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -Lösung, eine zweite mit 1 ccm derselben Lösung. Sie wurden ungefähr mit der gleichen Menge Aussaatmaterial geimpft und 16 Stunden bei  $32^\circ$  gehalten. Beide waren am folgenden Morgen ganz milchig getrübt und die 1proz. Lösung deutlich stärker, als die 0,5proz.; die erste zeigte auch schon einen großen Bodensatz. Die mikroskopische Untersuchung erwies sehr viele wuzige Kügelchen, unter denen man größere eigentümlich birnenförmig gestaltete Zellen bemerken konnte (Taf. VI Fig. 9).

Gleichzeitig mit den Proberröhrchen wurde eine Aussaat desselben Impfmateri als in Uhrgläschen mit denselben Nährlösungen vorgenommen und über Nacht in der feuchten Kammer bei Zimmertemperatur stehen gelassen. Hier waren keine Kugelgestalten zu sehen. Man vernahm anstatt dessen unter den normal gestalteten Vibrionen ziemlich viele merkwürdig schief trompeten- oder hornartig geformte Individuen (Taf. VI Fig. 10); manche sahen unsymmetrisch halbkugelförmig, zuweilen mit einer Aufblähung an der Kreisfläche aus. Sie waren alle beweglich; einige besaßen in der Mitte eine Vakuole. Das breite Ende erschien bei geeigneter Stellung des Organismus kreisrund. Viele von den Zellen waren bedeutend größer als die in Mehrzahl befindlichen Vibrionen, es gab aber auch solche, die dieselben kaum in ihrer Größe übertrafen. Nach ihrer Gestalt erinnerten einige von ihnen, besonders die größeren, wie z. B. *a* und *b*, die an dem breiten Ende auch eine Art Kragen besaßen, etwa an eine kleine *Vorticella*. In einem anderen Falle, wo die Untersuchung der Uhrgläschen etwas später erfolgte, besaßen diese Riesenvibrionen einen etwas veränderten Bau: das breite Ende war abgerundet und fast ausnahmslos mit einer Vakuole, ungefähr in der Mitte, ausgestattet; zuweilen war dieselbe endständig (Taf. VI Fig. 11).

Eine Abrundung am breiten Ende zeigten die trompetenförmigen Zellen beim Übertragen in die gewöhnliche Zuckerbouillonlösung, wobei die Vakuole meist verschwand. Umgekehrt, beim Übertragen in eine 1proz.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -Lösung konnte man das Entstehen einer zweiten Vakuole an dem schmalen Zellende sehen, welches dadurch breiter wurde (Taf. VI Fig. 12).

Der Inhalt der Uhrgläschen wurde noch einmal am dritten Tage nach der Aussaat revidiert. Die reichlich vermehrten normalen Vibrionen waren sämtlich gut beweglich. Ebenso verhielten sich auch die kleineren birnenförmigen Zellen. Die großen dagegen sah man meistens ruhig liegen, fast jede an ihrem schmalen Ende oder

seltener rings herum dicht mit den Vibrionen besetzt. Weiter wurde die Entwicklungsgeschichte und die Formveränderungen von *Vibrio proteus* in den alkalischen Nährmedien nicht untersucht.

Beim Abbrechen der Versuche war die Reaktion des Uhrgläscheninhaltes noch stark alkalisch.

Das Verhalten der Vibrionen in einer 1—10proz. Rohrzuckerlösung bot wenig Charakteristisches. Sie blieben lange Zeit — bis über 3 Stunden — beweglich und behielten meist auch ihre normale Gestalt bei. Hier und da konnte man vielleicht eine Aufblähung bemerken; ganz vereinzelt trat eine Plasmoptysegestalt auf. Nach 5 Stunden lag die Mehrzahl ruhig, gleichmäßig im Tropfen verteilt — ein Bild, das bei der Revision nach Verlauf von noch 3 Stunden unverändert geblieben war. Eine 20proz. Zuckerlösung, in der sich der Organismus noch ganz gut entwickelt, wirkte sofort lähmend auf die Bewegung der aus Wasser übertragenen Individuen ohne jeglichen Einfluß auf ihre Gestalt.

Ebenso verhielt sich eine 3—0,5proz. Harnstofflösung: Die Organismen blieben nach dem Eintragen sofort an Ort und Stelle unbeweglich, viele in einer vertikalen Stellung zitternd. Nach einiger Zeit erholten sie sich und man sah sie am Rande sich ansammeln, wobei die dem Spalt zugekehrte Seite deutlich bevorzugt war. Auch hier sah man nach einiger Zeit im Innern der etwas aufgeblähten Stäbchen Körnchen hervortreten.

Schließlich war auch das Verhalten in 1proz. Glycerinlösung demjenigen in der Harnstofflösung ganz gleich. Hier sah man ebenso die Organismen sofort nach dem Übertragen in der Mitte des Tropfens schweben. Die Wirkung schien hier noch schädlicher als bei Harnstofflösung zu sein, denn die Organismen hatten sogar nicht mehr Kraft, an die geeignete Atmungsstelle im Tropfen zu gelangen, und saukn meistens in die Tiefe, so daß sie überhaupt schwer zu finden waren.

Es braucht nicht hervorgehoben zu werden, wie wenig die geschilderten Versuche zur Lösung der Plasmoptysefrage beibringen; sie bringen eigentlich nichts. Und doch ist mir eins bei ihrer Ausführung aufgefallen — das war das Verhalten der Vibrionen im Wasser selbst. Ich bemerkte, daß sie beim längeren Verbleiben in dem Wassertropfen im Uhrgläschen eine ausgesprochene Neigung zur Abrundung zeigten. Ich bewahrte daher die Aufschwemmungsflüssigkeit in einer feuchten Kammer längere Zeit und nun überzeugte ich mich, daß schon nach Verlauf von 24 Stunden eine ganz genaue und allgemeine Abrundung eingetreten war. Das Bild (Taf. VI

Fig. 13) gibt einen Teil des Hängetrophenrandes mit der Reihe von nebeneinander liegenden Kügelchen wieder, deren einige auch die oft sichtbaren Körnchen aufweisen. Es muß ausdrücklich bemerkt werden, daß die Organismen bei ihrer Aufschwemmung nur Vibrionengestalten zeigten und daß außer den Kügelchen keine Gestalten mehr in dem Wassertropfen im Uhrgläschen zu finden waren, weder allein, noch mit den Kügelchen verbunden. Von Häuten, die sich im Wasser allerdings nicht aufgelöst hätten, war absolut nichts zu sehen.

Es ist mir auch gelungen, den Vorgang der Abrundung direkt zu beobachten unter Zuhilfenahme der  $\text{NH}_3$ -Wirkung auf die im Wasser einige Stunden liegengebliebenen Vibrionen.

Es wurde mit der kleinen Öse eine Spur von dem Aufschwemmungsmaterial in einen Hängetrophen aus destilliertem Wasser übertragen.  $a_1$  um  $b_1$  (Taf. VI Fig. 14) stellen zwei Individuen dar, welche ich im Auge hatte, als der Spalt zwischen dem Deck- und Objektgläschen mit 0,2proz.  $\text{NH}_3$  geschlossen war. Nach 10 Minuten hat sich  $b_1$  etwas aufgebläht ( $b_2$ ), während  $a$  sich träge verhielt. Es wurde die 0,2proz.  $\text{NH}_3$ -Lösung durch 0,5proz. ersetzt und es dauerte nicht lange, als  $a_1$  ruckweise zu  $a_2$  wurde, und nach Verlauf von noch 15 Minuten kamen die einwandsfreien Abrundungsgestalten  $a_3$  und  $b_3$  zum Vorschein. Die Bilder geben zugleich Aufschluß darüber, auf welche Weise die über die Kugeloberfläche etwas herausragenden Körnchen, die berühmten „Beinchen“ entstehen.

Im Hängetrophen war in dieser Zeit die Abrundung ziemlich allgemein eingetreten. Der Beweis für die Abrundung von Vibrionen ist somit gebracht: sie tritt ein und zwar unter der Wirkung des absoluten Mangels von Nährstoffen. Höhere Temperatur, flüssige Umgebung und Nährstoffmangel — das sind die wichtigsten Momente, welche bei der Abrundung der Zellen von *Vibrio proteus* mitspielen.

Nicht nur reines Wasser (die Abrundung tritt ebenso im destillierten wie im Leitungswasser ein), sondern auch schwache Lösungen solcher Stoffe, die nicht sofort tödend auf den *Vibrio* wirken und ihn nur unvollständig ernähren, wie z. B. eine 1proz. Glycerin- oder 1proz. Rohrzuckerlösung führen zu einer Abrundung der immer schwächer werdenden Organismen. Es lassen sich auch diese Flüssigkeiten in eine Reihe nach ihrem Ernährungswert ordnen, wobei der *Vibrio* um so länger seine normale Gestalt behält, je besser die entsprechende Lösung seinen Nährbedürfnissen entspricht. Im Hängetrophen läßt sich diese Wirkung nicht gut verfolgen, wohl aber, wenn man sich gleichzeitig Aufschwemmungen von demselben Agarmaterial in den

genannten Lösungen in Uhrgläschen darstellt und diese längere Zeit in einer feuchten Kammer aufbewahrt. Fig. 15 (Taf. VI) stellt dar den Rand des Hängetropfens vor der Aufschwemmung in 1proz. Glycerinlösung, welche gleichzeitig mit der obenerwähnten Wasseranschwellung angelegt und untersucht wurde. Man sieht hier neben den vollständig abgerundeten Kugeln und ziemlich unverändert gebliebenen Stäbchen ovale Übergangsformen zwischen beiden. Die Zahl der letzten war in der Zuckeraufschwemmung noch größer mit gleichzeitiger Abnahme der Kugeln.

In allen diesen Versuchen war von der Plasmoptyse nichts zu sehen.

Es lag aber nahe, von den pessimalen Lebensbedingungen, wie sie ein Hängetropfen aus destilliertem Wasser darbietet, zu den optimalen — einer alkalischen Fleischwasserpeptonlösung, oder noch besser einer solchen mit etwas Zuckersatz überzugehen und das Verhalten der Organismen in den ihnen zusagenden Nährlösungen zu beobachten. Es wurde wieder eine Aufschwemmung von dem Agarmaterial, das in gewünschtem Entwicklungsstadium sich befand, in etwas Wasser gemacht und von hier in die entsprechenden Hängetropfen mit der kleinen Öse eine Spur übertragen. Die Organismen, welche im Wasser ihre Beweglichkeit bald einbüßen und mehr Stäbchen- als Vibrionenform aufweisen, nehmen unter der Wirkung des guten Nährmediums ihre normale Vibrionenform bald an. Schlank und deutlich gekrümmt erscheinen sie am Rande, wo sie sich oft zu Reihen senkrecht zur Krümmungslinie des Tropfenrandes ordnen und entweder an einer Stelle sich bewegen, oder in der ganzen Schar dem Tropfenrande entlang herumschwimmen. Viele treiben lebhaft umher, einzeln oder zu kleinen radialen Haufen — offenbar durch die gegenseitige Geißelverflechtung — vereinigt. Lange dauert die rege Bewegung im Tropfen. Nach 2, selbst nach 3 Stunden wird man fast nur diese Gestalten, die sich inzwischen reichlich vermehrt haben, sehen. Aber hier und da bemerkt man im Gedränge der Vibrionen und Vibrionenkettchen Kügelchen, die in ihrer Beweglichkeit ihren normalgestalteten Gefährten gar nicht nachstehen; ins Freie gelangt, verschwinden sie ebenso rasch wie jene aus dem Gesichtsfelde. Wenn es aber gelingt, die eine oder die andere genauer anzusehen, so bemerkt man, daß jede von ihnen einen Anhängsel mit sich schleppt — eben das herabhängende „Häutchen“ des einzelnen Vibrions oder eines noch nicht geteilten Pärchens.

Wird die Beobachtung in der rechten Zeit nach dem Anlegen

des Hängetrofens vorgenommen, so gelingt es zuweilen, die Plasmoptyse an einer großen Individuenzahl zu beobachten. In meinen Versuchen begann sie gewöhnlich nach Verlauf von  $2\frac{1}{2}$ —3 Stunden und war etwa 2 Stunden später zum größten Teil eingetreten. Nach dieser Zeit lagen allerdings die plasmoptierten Vibrionen schon meistens ruhig. Die Mehrzahl plasmoptiert in der Bewegung — bei diesen ist es unmöglich, die nacheinander folgenden Stadien des Vorganges zu notieren. Mit Leichtigkeit kann man es aber bei den ruhig an einer Stelle verbleibenden vornehmen.

Die Plasmoptyse spielt sich ganz so, wie schon oben beschrieben wurde: ein außerhalb des Bakterienleibes erschienenenes Knöpfchen (*a*) (Taf. VI Fig. 16) schwillt langsam zu einem winzigen Kugelchen (*b*), welches weiter sich zu einer Kugel (*c*), deren Durchmesser nm das vielfache die Stäbchendicke übertrifft, ausbildet. Zwischen *a* und *b* verflossen 10 Minuten, *c* entstand noch nach Verlauf von 15 Minuten. Der ganze Vorgang nahm somit ca.  $\frac{1}{2}$  Stunde in Anspruch. Das Bild im Hängetrofpen nach dem Eintritt der Plasmoptyse ist überaus charakteristisch: man sieht die geometrisch runden kleineren und größeren Kugelchen mit ihren meist etwas gekrümmten, zuweilen ganz dünnen Anhängseln, zusammen mit den nicht plasmoptierten Individuen im dichten Gedränge längs des Tropfenrandes liegen: hier und da trifft sich ein längeres Stäbchen mit zwei Kugelchen je an einem Ende, sehr selten sind die Formen mit zwei kurzen Anhängseln an einer Kugel (Taf. VI Fig. 17).

Außer diesen Gestalten sieht man keine anderen, weder lose liegende Kugeln, noch ellipsoidale Aufblähungsformen.

Macht man sich aus dem plasmoptierten Material ein gefärbtes Präparat, so sieht man, daß die Kugelchen viel intensiver färbbar sind, als die an ihnen hängenden Häutchen.

Auf die geschilderte Weise erhielt ich die Plasmoptyse immer am deutlichsten, und zwar allgemein in einer Fleischwasserpeptonlösung mit 1 Proz. Zuckerzusatz besser, als ohne diesen.

Zu bemerken ist, daß der Hängetrofpen nach dem Eintritt der Plasmoptyse eine ganz deutliche alkalische Reaktion besaß. — Kein einziges Mal konnte ich die Abtrennung des anhängenden Häutchens vom ausgepreßten Plasmatröpfchen bemerken.

Professor ALFRED FISCHER schreibt zwar<sup>1)</sup>: „Von den Plasmoptysekugeln werden später bei anhaltenden Bewegungen die leeren Hautreste abgestreift“, gesehen aber hat Professor ALFRED FISCHER

<sup>1)</sup> Ber. d. Deutsch. bot. Ges. Bd. XXIV S. 58.

dieses „Abstreifen“ wohl nicht. Es war nötig, die in so großer Zahl in den flüssigen Kulturen erscheinenden Kugeln „mit ein oder zwei Beinchen“ irgendwie mit den viel selteneren wahren Plasmoptysegestalten zu verbinden, und so ist die Geschichte über das „Abstreifen leerer Hantreste“ entstanden. Ja, Professor ALFRED FISCHER bringt sogar einen Beweis für die Richtigkeit seiner Vermutungen, welcher lautet: „Wie der leere Wurstdarm länger ist als die Wurst, sind auch die leeren Vibrionenhäute länger als der Vibrio“. „Man findet — nach Professor ALFRED FISCHER — in Kulturen gewissen Alters (20 bis 24 Stunden) oft größere Mengen leerer Hautsäcke.“ Ich habe die zuletzt beschriebenen Plasmoptysegestalten, die noch lange (1 bis 2 Stunden) gut beweglich waren, bis zu ihrer endgültigen Sistierung unaufhörlich beobachtet und ohne eine einzige Ausnahme die Kügelchen mit ihren Häutchen in stetiger Verbindung gesehen. Dann habe ich öfters nach den „Hautsäcken“ in Kulturen verschiedenen Alters gesucht und bin überzeugt, daß das, was Professor ALFRED FISCHER für entleerte *Vibrionenhäute* nahm, nichts anderes, als degenerierte, verunstaltete Vibrionen waren. Bei Beschreibung der Entwicklung von *Vibrio proteus* in Heuinfuskulturen habe ich schon bemerkt, daß man in älteren Kulturen hauptsächlich zwei Gestalten, ruhig liegende Kügelchen und dünne schwach gewundene Vibrionen, die fast Stäbchenform besitzen, findet. Durch die letzten wurde wahrscheinlich Professor ALFRED FISCHER irreführt.

Auf Grund aller dargelegten Beobachtungen bin ich wohl berechtigt, die Ansicht von Professor ALFRED FISCHER, daß die in einer flüssigen Kultur von *Vibrio proteus* auftretenden anhangslosen kugeligen Gestalten mit den oben beschriebenen Plasmoptysegebilden in irgend welchem genetischen Verhältnis ständen, als unrichtig aufzufassen. Professor ALFRED FISCHER hat zwei nebeneinander verlaufende und voneinander unabhängige Vorgänge in einen größeren gemeinschaftlichen Cyklus verbunden, welcher de facto nicht existiert.

Es bleibt noch übrig, die Versuche über die Wiederbelebung des durch Plasmoptyse, resp. Abrundung deformierten Materials zu erwähnen. Die durch längeres Liegen im Wasser abgerundeten Gestalten zogen beim Übertragen in einen Hängetropfen aus Zuckerbouillon ihren Inhalt mondförmig an eine Seite der Kugel zusammen (Taf. VI Fig. 18), bekamen ein mehr gekörnelttes Aussehen, zeigten aber sonst keine Lebenserscheinungen.

Die Plasmoptysekügelchen, soweit sie schon zur Ruhe gekommen waren, zeigten beim Übertragen in eine frische Nährlösung auch

keine Lebenserscheinungen mehr, die beweglichen konnte man noch einige Zeit umherschwimmen sehen, wobei die Anhängsel immer kleiner und dünner wurden, zur „Abstreifung“ aber nie gelangten (Taf. VI Fig. 19); schließlich werden sie auch sistiert, um scheinbar definitiv vom Leben Abschied zu nehmen.

#### IV. Theoretisches.

Vergleicht man die Bedingungen, unter welchen die Plasmoptyse zustande kommt, mit denjenigen, welche zur Abrundung der Zellen von *Vibrio proteus* führen, so sieht man den diametralen Unterschied zwischen diesen beiden Erscheinungen. Die Abrundung in ihrer vollkommensten Art, wie sie in Wasser eintritt, ist das Zeichen einer Ohnmacht der durch Mangel von Endosmose von Nährstoffen und wahrscheinlich durch gesteigerte Exosmose erschöpften Zelle. Das Auftreten der Körnchen im Bakterienleibe scheint damit im Zusammenhange zu stehen: es können sich anhäufende Niederschläge gewisser Stoffe sein, die in dem ausgelaugten Zellinhalte nicht mehr in Lösung erhalten werden können. Die Membran verliert ihre Elastizität, sie wird auch gewaltig durch den gesteigerten osmotischen Druck im Inneren der Zelle aufgetrieben, schließlich ist sie nicht mehr imstande, Widerstand zu leisten und wird vollständig deformiert; sie wird zu einer gewöhnlichen Blase. In der Form einer Kugel kann der *Vibrio* eventuell noch einige Zeit am Leben bleiben, wenn diese Umgestaltung nicht so brutal, wie das im Wasser der Fall ist, sondern allmählich in einer langsam sich erschöpfenden Nährlösung zutage tritt; er ist aber schon dem Tode, sozusagen, prädestiniert: eine in Teilung begriffene vollständig abgerundete Kugel habe ich nicht gesehen. — Anders die Plasmoptyse. Sie tritt nur bei Individuen ein, die eben in den optimalen Lebensbedingungen sich befanden. In die mit voller Energie sich abspielenden Lebenserscheinungen der Zellen greift irgend ein störender Umstand ein. Was es ist — darüber kann man einstweilen nur Vermutungen aussprechen: es kann der plötzliche Mangel eines wichtigen Nährstoffs, wie z. B. des Zuckers oder einer anderen Verbindung sein, ebenso gut kann es auch die Anhäufung eines oder mehrerer aus der Bakterie ausgeschiedenen oder in ihr sich ansammelnden Umsetzungsstoffe sein; die Säure an und für sich ist es allerdings nicht, denn die Plasmoptyse findet auch in einer alkalischen Lösung statt. Nun tritt der Inhalt der Zelle (wahrscheinlich nur teilweise) nach außen und die rege Beweglichkeit des plasmoptierten Individuums bezeugt



am besten, daß das Zustandekommen der Plasmoptyse ein momentaner Sieg des Organismus im Kampfe ums Dasein ist. Wie mit neuen Kräften ausgestattet sucht sich die Zelle eifrig zusagende Existenzbedingungen aus. Sie ist aber durch die schwere Operation so geschwächt und auch verunstaltet, daß selbst die günstigsten Lebensbedingungen, die ihren nichtoperierten Genossen alle Lebensfreuden von neuem darbieten, sie nicht mehr zu retten imstande sind: sie ist nnteilbar und verschwindet ohne Nachkommenschaft aus ihrer Hängetropfenwelt. Eine Frage drängt sich schon lange auf: Wie kommt es, daß nicht der ganze Inhalt eines Probierröhrchens, daß nicht alle Individuen gleichzeitig eine bestimmte Entwicklungsform annehmen, sondern daß man in einem gewissen Zeitpunkt die verschiedensten Gestalten miteinander vermischt findet?

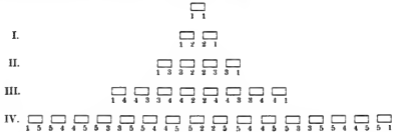
Die Ursachen dieser Erscheinung sind zweierlei Art: sie liegen erstens außerhalb der Organismen, in ihrem Kulturmedium, und zweitens — in den Organismen selbst, in dem jeweiligen Zustand der Zelle, welcher durch die Summe aller in ihrem bisherigen Leben mitwirkenden Lebensbedingungen bestimmt ist und seinerseits die Lebenserscheinungen des nächsten Zeitmoments bedingt.

Eine Flüssigkeit, soweit sie keine Trübung und keinen Niederschlag besitzt, stellt anfangs ein vollständig homogenes Medium dar. Schon aber beim Einstellen des Röhrchens in den Brutschrank wirkt die Wärmeausbreitung differenzierend auf den Inhalt, in welchem eine bewegliche Bakterienart sich nach allen Richtungen hin gleichförmig verteilt hat. Die Temperaturunterschiede gleichen sich aber in dem kleinen Probierröhrchen bald aus; die beweglichen Organismen tragen dazu nicht unbedeutend bei. Es vermehren sich nun die an das neue Medium angepaßten Organismen lebhaft und es wird allmählich der Vorrat an den verschiedenen Nährsubstanzen der Lösung verbraucht. Sehr deutlich tritt bei *Vibrio proteus* in einem gewissen Entwicklungsstadium der Mangel an Sauerstoff auf: die Organismen sammeln sich an der Oberfläche zu einer dünnen Kahlhaut und sperren den Zutritt der „Lebensluft“ zu den anderen ab. Bald entsteht auch ein Bodensatz aus den heruntersinkenden, meist abgerundeten, absterbenden Zellen, und so ist das Nährmedium ganz ungleichartig geworden.

Etwas näher sei das zweite Moment, der Entwicklungsgang der Organismen selbst, die „inneren“ Ursachen ihrer Verschiedenheit in einem gegebenen Zeitmoment besprochen.

Eine durch Zweiteilung sich vermehrende Zelle erzeugt, wie leicht zu berechnen, nach  $n$ -Teilungen  $2^n$ -Zellen.

Ist diese ganze Nachkommenschaft untereinander gleich, oder lassen sich „ältere und jüngere“ Individuen unterscheiden? — eine Frage, die bis jetzt in der Bakteriologie stillschweigend umgangen wurde, gleichwohl sie sich rein mathematisch beantworten läßt. Wir wollen eine Zelle in ihrer Teilung verfolgen.



Nach Eintritt der IV. Teilung können wir folgende Zellen unterscheiden:

- a) 8 Zellen 4,5
- b) 4 " 3,5
- c) 2 " 2,5
- d) 2 " 1,5

Ihre Summe stellt die Gesamtheit der momentan vorhandenen Zellen dar, somit

$$2^4 = 2 + 2 + 4 + 8 = 2 + 2^1 + 2^2 + 2^3.$$

Nach Eintritt der folgenden Teilung wird die Gesamtzahl

$$2^5 = 2 + 2^1 + 2^2 + 2^3 + 2^4 \text{ usw.}$$

Nach Eintritt der  $n$ -ten Teilung haben wir

$$2^n = 2 + 2^1 + 2^2 + \dots + 2^{n-1})$$

Die in der Reihe IV befindlichen 16 Zellen — die Nachkommenschaft der Zelle 1,1 — können nicht als vollständig gleichartig be-

<sup>1)</sup> Algebraisch dargestellt bekommt der Ausdruck die Form:

$$a^n = a + a^1 + a^2 + \dots + a^{n-1}$$

Diese Formel ist richtig nur für den Spezialfall, wenn  $a = 2$  ist. Für beliebige Werte von  $a$  gilt die allgemeine Formel:

$$a^n = a + (a-1)a + (a-1)a^2 + (a-1)a^3 + \dots + (a-1)a^{n-1}.$$

Ist  $a = 2$ , so geht diese Formel in die obige über. Offenbar stellt die letzte allgemeine Formel den Zustand nach der  $n$ -ten Teilung von  $a$ -Zellen, welche sämtlich gleichmäßig sich geteilt haben.

trachtet werden. Obwohl jede von ihnen aus der Reihe III durch Einlegung einer neuen Wand 5 entstanden ist, so können wir die zwei Zellen 1,5, deren Ende 1 noch an die Ururgroßmutter 1,1 erinnert, schwer mit den jüngst entstandenen 4,5 auf die gleiche Stufe stellen. Wenn man den Unterschied, welcher durch die verschieden alten Abgrenzungswände der Zellen verursacht wird, anerkennt, dann bekommt der allgemeine Ausdruck

$$a^n = a + (a-1)a + (a-1)a^2 + \dots + (a-1)a^{n-1}$$

eine tiefere Bedeutung dadurch, daß er die Gesamtheit der aus  $a$ -Zellen nach  $n$ -Teilungen entstandenen Individuen als Summe der Organismen „verschiedenen Alters“<sup>1)</sup> darstellt.

Ob diese „Altersunterschiede“ auch nicht in den Formveränderungen von *Vibrio proteus*, wie Plasmoptyse, trompetenartige Erweiterung eines Endes usw., mit eine Rolle spielen, das läßt sich natürlich nicht direkt beweisen, aber wohl vermuten.

### *Vibrio aus der Jauche.*

In der Erscheinung der Plasmoptyse steht *Vibrio proteus* gar nicht vereinzelt da. Gelegentlich konnte ich diesen Vorgang an einem in der Jauche sich entwickelnden *Vibrio* aufs deutlichste beobachten. Der Organismus konnte leider weder identifiziert, noch isoliert werden, da er auf den Gelatine-, Jauchengelatine- und Jauchenagarplatten nicht zur Entwicklung kam und auch in seinem ursprünglichen Entwicklungsort bald verging. Merkwürdig rasch vermehrte er sich in einer Jauchenprobe, die schon einige Tage im Laboratoriumszimmer gestanden hat. Nach dem plötzlichen Erscheinen verging er aber auch ebenso geschwind. Am dritten Tage, nachdem ich ihn bemerkt habe, war er schon so geschwächt, daß das Experimentieren mit ihm zu keinen Resultaten mehr führte. So lange ich ihn in der Hand hatte, konnte ich feststellen, daß in diesem Falle die Plasmoptyse auf rein osmotischem Wege zustande kam: beim Übertragen einer Spur von der Jauchenoberfläche (der Organismus war deutlich aërophil) in einen Wasserhängetropfen trat die Plasmoptyse sofort und allgemein ein. Die Vibrökettchen (der *Vibrio* kam nur

<sup>1)</sup> Daß diese Auseinandersetzung nur eine grobe Schematisierung des Zellteilungsvorganges bei den Bakterien ist, ist ja einleuchtend. Der Bakterienleib, wie jede lebendige Zelle, bleibt nicht einen Moment unverändert: wenn ich daher von einem „älteren Ende“ der Bakterienzelle spreche, so ist es nichts anderes, als bloß ein Hilfsbegriff zur Schilderung der Möglichkeit innerer Verschiedenheiten zwischen den Organismen einer Kultur.

in Ketten vor) schieden entweder an den Enden, oder — viel öfter — in der Mitte seitlich Kügelchen aus, die sie dann in ihren regen Bewegungen mitschleppten (Taf. VI Fig. 20). Das Kügelchen wurde immer in der Einzahl ausgeschieden, so daß man es als eine Ausscheidung des ganzen Kettchens ansehen muß. Wurde der Organismus von der Jauche in eine  $\frac{3}{4}$ proz. NaCl-Lösung übertragen, so war keine Spur der Plasmoptyse zu sehen; er behielt dabei auch seine volle Beweglichkeit bei.

Es wurden Versuche angestellt, um den Verdünnungsgrad der Jauche zu bestimmen, bei welchem die Plasmoptyse zustande kommt. Mit den mit 0,1 cm-Teilungen versehenen Pipetten wurde zuerst die Jauche und darauf destilliertes Wasser in Uhrgläsern zusammengebracht und nach dem Vermischen mikroskopisch geprüft. Das Ergebnis war, daß erst bei der Verdünnung von 1 (Jauche) zu 4 ( $H_2O$ ) eine deutliche, fast allgemeine Plasmoptyse entstand. Bei der Verdünnung 1:1 fand sie gar nicht statt, bei 1:2 trat sie nur vereinzelt ein. Die Verdünnungen von 1:4 bis 1:7 führten sofort zur Plasmoptyse, beeinträchtigten aber die Beweglichkeit der plasmoptierten Zellen anfangs nicht; erst nach Verlauf von  $\frac{1}{2}$ —1 Stunde konnte man eine Ermüdung derselben wahrnehmen. Von der Verdünnung 1:8 an sah man immer mehr unbewegliche Zellen, und bei 1:10 war die Mehrzahl sofort unbeweglich. Die höheren Verdünnungen bis 1:40 brachten keine Änderung mehr in die Erscheinungen.

Stärkere Konzentrationen von NaCl wirkten auf den *Vibrio*, wie gewöhnlich, plasmolysierend ein.

Die Versuche mit der Wirkung der Essigsäure und  $NH_3$ -Dämpfe durch den Spalt führten zu keinen positiven Resultaten.

Die Reaktion der Jauche selbst war stark alkalisch.

Man konnte auch hier den Vorgang der Plasmoptyse unter dem Mikroskop unmittelbar verfolgen. Der Organismus war so groß, daß man ihn ganz gut mit einem Trockensystem (LEITZ-Objektiv E) beobachten konnte. Es wurde nun eine BÖTTCHER'sche feuchte Kammer angelegt und das Wasser in ihr über einer kleinen Flamme gelinde angewärmt, um es zu einer intensiveren Verdampfung zu bringen. Nach dem Auflegen des Deckgläschens mit dem Untersuchungsmaterial wurde die Beobachtung sofort vorgenommen. Es gelang nun zu sehen, wie in dem zerfließenden Jauchenhängetröpfchen an den Vibrionenketten winzige Kügelchen entstanden und rasch heranwuchsen.

Wie bemerkt, fing der *Vibrio* sehr rasch an in der Jauche zu

degenerieren: er wurde unbeweglich, erschien immer weniger zahlreich, plasmoptierte nicht mehr so regelmäßig, so daß die Versuche abgebrochen werden mußten.

### *Spirillum volutans.*

Zu den plasmoptierenden Organismen gehört auch *Spirillum volutans*, nur erfolgt hier die Plasmoptyse auf andere Weise, als bei den Vibrionen.

Untersucht man eine ältere Agarkultur von diesem *Spirillum*, so bemerkt man viele kleine ovale, zuweilen fast kugelförmige, zum Teil bewegliche Formen, die in ihrem äußeren Aussehen gar nicht an die *Spirillum*-Gestalt, eher an eine Monadine erinnern. In der gewöhnlichen Fleischwasserpeptonlösung entwickelt sich *Spirillum volutans* in seiner normalen Gestalt. Dieselben Gestalten erscheinen auch auf der Agaroberfläche der nicht veralteten Strichkulturen. Überimpft man von einer solchen gut entwickelten frisch angelegten Kultur in ein Röhrchen, welches Fleischwasserpeptonlösung mit Zusatz von 1 ccm einer 1 proz.  $\text{NH}_3$ -Lösung enthält, so kann man nach etwa 16 Stunden Züchtung bei  $32^\circ$  die verschiedenen „Involutionsgestalten“ vom genannten *Spirillum* beobachten: längliche unregelmäßig gekrümmte, spindelförmig verdickte mit Krümmungen, gerade stäbchenförmige, kleine ovale bis zu fast runden und noch kleinere bazillenförmige Zellen schwimmen im Tropfen umher (Taf. VI Fig. 21). Zuweilen hält die eine oder die andere auf, verbleibt einige Minuten an der Stelle, von Zeit zu Zeit aufzitternd, als ob sie sich austrenge, sich frei zu machen, könne es aber nicht; auf einmal wird sie frei und schwimmt weiter fort. Betrachtet man eine solche angeheftete und aufzitternde Zelle genauer, so sieht man, daß sie in der Tat am Deckgläschen mit ihrem Ende festhaftet und zwar durch das von ihrem eigenen Leibe sich ausscheidende Protoplasma, welches körnige Fleckchen am Deckgläschen bildet. Zwei in Teilung begriffene Zellen scheiden ihren Inhalt an den freien Enden aus, eine freie Zelle scheidet ihn nur an einem Ende, wahrscheinlich dem älteren aus (Taf. VI Fig. 22).

Nach Verlauf von noch etwa 6 Stunden warmer Züchtung findet man die Zahl der größeren Gestalten bedeutend vermindert und sieht an ihrer Stelle viele dünne verkümmerte Formen auftreten. Einige von ihnen sind ganz „fadendünn“ geworden bei Behaltung ihrer Länge; sie sehen wie entleert aus, ohne den bei Spirillen üblichen Körnerinhalt. Ebenso transparent sind die verkleinerten

stäbchenartigen Gestalten, während die ovalen und kugelförmigen einen körnigen Inhalt noch erkennen lassen. Die Plasmoptyse dauert fort: man kann an den einzelnen Organismen ganze Proto-plasmafäden anhaften sehen; hier und da liegen solche Plasmastränge am Deckgläschen allein in Begleitung der körnigen Ausscheidungen (Taf. VI Fig. 23). Jetzt sind auch beiderseits plasmoptierende Individuen zu sehen.

Bei größerem  $\text{NH}_3$ -Gehalt wird die Beweglichkeit der Zellen schon sehr beeinträchtigt, es kommen auch keine großen Individuen mehr zur Entwicklung (z. B. bei Zusatz von 1 ccm einer 3proz. Lösung), so daß auch die Plasmaausscheidung nicht mehr so deutlich zutage tritt. Die Erscheinung der Plasmoptyse im Hängetropfen kann man etwas beschleunigen und verdeutlichen, wenn man die Beobachtung mit dem Spalt einsetzt und denselben z. B. mit 2 Proz.  $\text{NH}_3$  verschließt.

Die Plasmoptyse tritt nicht nur in einer  $\text{NH}_3$ -haltigen, sondern auch in einer mit Essigsäure angesäuerten Lösung ein. Der Organismus entwickelt sich in dem sauren Nährmedium sehr spärlich, aber es gelingt auch hier sehr deutlich die Plasmaausscheidung zu beobachten. Nur sind in diesem Falle die Individuen viel gleichmäßiger gebaut; ich fand keine aufgeblähte Formen, nur die geraden oder etwas gekrümmten Stäbchen von gleichmäßiger Dicke.

Etwas stärkere Säurekonzentrationen wirken tödlich.

Vieles wäre hier noch zu ermitteln, so z. B. das Verhalten der Geißeln bei den plasmoptierenden Individuen, welche vor wie nach beweglich bleiben, die Regenerierung der wie „entleerte Hautsäcke“ ansiehenden verkümmerten Organismen zu normalen Spirillen usw. usw.

### *Glaucoma colpidium.*

Nachdem die verschiedene Wirkung gewisser chemischer Veränderungen im Nährsubstrat auf einige Repräsentanten derjenigen Organismen, welche in die Gruppe der Bakterien eingereiht werden, festgestellt war, wurde nach ähnlichen Erscheinungen in den anderen Gruppen der einfachsten Lebewesen gefahndet.

Zuerst kam das Infusor *Glaucoma colpidium* (ScheW.) zur Untersuchung.

Die Aufgabe bestand in der unmittelbaren Beobachtung der Wirkung entsprechender Substanzen vom ersten Moment an, wo die Zelle mit ihnen in Berührung kam bis eventuell zum Tode derselben. Dementsprechend wurden als Agentien die verhältnismäßig leicht

verdampfenden Substanzen, wie Ammoniak, Trimethylamin, Anilin, Essigsäure, Alkohol, Formaldehyd, Äther, Chloroform, Phenol und Jod angewandt — alle in entsprechend verdünnten wässrigen Lösungen. Die Versuchsanordnung war die bekannte mit der Wirkung des Agens durch den Spalt. Was zunächst die Wirkung der basischen Stoffe, wie Ammoniak, Trimethylamin und Anilin anbelangt, so äußerte sie sich auf die gleiche Weise: die mehr oder weniger eiförmige Gestalt des Infusors blähte sich allmählich auf, was — besonders bei den kleineren jüngeren Individuen — oft fast bis zur Kugelform führte; an den größeren erschienen bald an der Oberfläche blasige Ausstülpungen, welche zuweilen eine völlige Deformation der Organismengestalt zur Folge hatten (Taf. VI Fig. 24). Wenn das entsprechende Agens nicht zu stark konzentriert war — 0,02 bis 0,04 proz.  $\text{NH}_3$ -Lösung, 0,01 bis 0,02 proz.  $\text{N}(\text{CH}_3)_3$ - und 0,2 bis 0,5 gesättigte Anilinslösung —, so ging die Wirkung ganz langsam vor sich: man konnte sehen, daß sie hauptsächlich in der Vergrößerung der Vakuole resp. in der Entstehung neuer Vakuolen an verschiedenen Körperstellen besteht.

Die deformierten Zellen waren anfangs sehr gut beweglich und ließen sich auch in der Regel zu ihrer früheren normalen Gestalt regenerieren, wenn man rechtzeitig die entsprechende Lösung im Spalt durch Wasser ersetzte und die Manipulation zur Ausziehung des Agens aus dem Hängetropfen einige Male wiederholte. Diese Belebungsweise hat sich erfolgreicher erwiesen, als das Neutralisieren des alkalischen Mittels, z. B. durch verdünnte Essigsäuredämpfe.

Die Vakuolen und die durch sie verursachten Ausstülpungen wurden allmählich eingezogen, die Zellen, wenn sie durch längere Wirkung des betreffenden Stoffes unbeweglich geworden waren, gewannen ihre normale Beweglichkeit wieder. Bei allzuweit fortgeschrittener Deformation gelang die Wiederbelebung nicht immer. In einigen Fällen, z. B. bei der Wiederbelebung der durch Wirkung der Anilindämpfe deformierten Organismen konnte man sehen, wie sich der gesunde Teil der Zelle von der blasigen Ausstülpung allmählich abgrenzte. Zuerst sah man an dieser Stelle das Protoplasma körniger werden, schließlich bildete sich eine neue Pelliculawand aus (Taf. VI Fig. 25).

Rascher erfolgte die Heilung der durch Alkoholwirkung (10 Proz.) angegriffenen Zellen und konnte daher genauer beobachtet werden. Die durch Alkohol verursachten Deformationen waren denjenigen, welche unter dem Einfluß der alkalischen Agentien entstanden, ähnlich, nur schien hier die Vakuolendilatation nicht so weit zu gehen.

$a_1$  und  $b_1$  (Taf. VI Fig. 26) stellen die Formen von drei Zellen nach 10 Minuten Wirkung der Dämpfe einer 10proz. Alkohollösung dar.

Die Individuen sind unbeweglich geworden und zeigten überhaupt keine Lebenserscheinungen mehr; ihre „Pulszahl“<sup>1)</sup> ist =  $\infty$  geworden. Es wurde nun der Alkohol durch Wasser ersetzt. Schon nach Verlauf von 15 Minuten nach mehrmaliger Auswechslung des Wassers im Spalt konnte man bei den Zellen Bewegungsanstrengungen wahrnehmen. Man sah, wie die Pellicula bei der durchsichtigen blasigen Ausstülpung sich allmählich einzog, so daß die Verbindungsbrücke mit dem aufgeblähten Zellenteil immer kleiner war ( $a_2, b_2$ ). Gleichzeitig konnte man bemerken, daß die Cytostomwimpern in Tätigkeit traten und die Vakuole zu pulsieren anfang. Das Pulsieren der Vakuole war zuerst unregelmäßig. In a z. B. habe ich bei der Belebung zwei pulsierende Vakuolen auftreten gesehen, eine größere von größerer und eine geringere von kleinerer Schlagdauer.<sup>2)</sup> Während einer Diastoleperiode der größeren schlug die kleinere fünfmal. Schließlich kamen beide in einer gemeinsamen Diastole in Berührung und verschmolzen zusammen; die Pulsierungsfrequenz ist — grob geschätzt — die der größeren geblieben. Ihre Pulszahl habe ich vor und nach der Verschmelzung nicht gezählt.  $a_2$  und  $b_2$  stellen den Zustand der Zellen in diesem Stadium dar. Nach Verlauf von noch 10 Minuten macht  $a$  durch eine drehende Bewegung den definitiven Versuch, sich von der Blase zu befreien, was ihr auch vollkommen gelingt und wir sehen das abgestreifte Bläschen neben der in einer veränderten Lage sich befindenden Zelle liegen ( $a_3$ ), während die stärker angegriffene Zelle  $b$  weiter arbeitet, um auch ihrerseits den nicht mehr zu heilenden Teil abzustößen; mit ihm wird auch ein Teil des körnigen Zellinhaltes entfernt ( $b_3$ ). Jetzt erreichen die Zellen langsam ihre normale Gestalt und Beweglichkeit zurück. Nach einer halben Stunde sieht man sie schon Schwimmversuche anstellen — zuerst auf kleinere Entfernungen ruckweise, aber nach Verlauf von drei Stunden äußert sich das Leben in den normalgestalteten Zellen auf normale Weise wieder (Taf. VI Fig. 27). Die Wirkung geringer Konzentrationen von Essigsäure (0,05—0,1 Proz.) äußerte sich ebenfalls zuerst in einer Aufblähung der *Glaucomazellen*; eine Aufreibung der Vakuole wurde dabei nicht bemerkt. Während der unruhigen beschleunigten Bewegung im Anfange der

<sup>1)</sup> „Untersuchungen über die kontraktile Vakuole und die Wabenstruktur des Protoplasmas“ von ALBERT DEGEN. Bot. Ztg. 1905 S. 163.

<sup>2)</sup> Vgl. die zitierte Arbeit S. 173.



Säurewirkung konnte man zuweilen Ausstoßung kleiner Blasen durch die Cytostomöffnung sehen. Allmählich erlischte die Wimperbewegung, die Zelle wurde sistiert und wenn die Säurewirkung nicht sofort aufgehoben wurde, blieb sie schon tot. Durch die fixierende Wirkung der Säure hob sich der Kern hervor, die gestäubten Wimpern wurden gut sichtbar und so verblieb die Zelle mit deutlichen Konturen, bis sie an einer gewissen Stelle platzte und der gänzlichen Zerstörung anheimfiel (Taf. VI Fig. 28).

Anders erfolgte die Tötung durch Wirkung größerer  $\text{NH}_3$ -Konzentration. Die betäubte Zelle bleibt an der Stelle und verliert auf einmal ihre innere Struktur, indem sie sich vollständig zu einer Kugel abrundet <sup>1)</sup> und innerlich zusammenfließt. In der Kugel kann man das Zittern der aus ihrer organischen Lagerung befreiten Körnchen sehen. Bald hält die geschwächte Wand der Blase den Druck von innen nicht mehr aus, sie platzt und ergießt sich in eine Anzahl kleiner Bläschen, die ihrerseits nacheinander wieder platzen und es bleibt nur ein Haufen Körner an der Stelle, wo sich die Zelle befand (Taf. VI Fig. 29). Nach einiger Zeit werden auch diese Überbleibsel durch die alkalische Flüssigkeit des Hängetropfens gelöst — und der Organismus ist „spnrlos“ verschwunden. Jod- und Formaldehydlösungen wirken so stark, daß die Zellen meist direkt zerstört werden, ohne ihre Gestalt vorher deutlich zu ändern. Die Vakuole und ihre Tätigkeit wurde bei diesen Versuchen außer Acht gelassen. Merkwürdig ist, daß die Wirkung sich nicht auf gleiche Weise bei allen Organismen äußert: die größeren älteren scheinen auf diese beiden Agentien empfindlicher zu sein, als die kleineren jüngeren. So z. B. nach 10 bis 15 Minuten Wirkung einer halbgesättigten wässerigen Jodlösung (entspricht ca. 0,015proz. J) werden die großen Zellen meistens sistiert, während die kleineren unter Beibehaltung ihrer normalen Gestalten sehr lebhaft meist in den höheren Regionen des mittleren Teils des Tropfens umherschwimmen. Wenn eine in der Eile in die gefährliche Zone am Rande gelaugt, so platzt sie plötzlich explosionsartig, sich in Kügelchen ergießend, welche auch bald verschwinden. Eine ähnliche Wirkung zeigte eine 0,05proz. Formalinlösung (entspricht 0,02proz.  $\text{H}_2\text{O}$ ). Das Zer-

<sup>1)</sup> Diese Kugelbildung erinnert in gewisser Beziehung an die Abrundung von *Vibrio proteus* unter dem Einfluß absoluten Nahrungsmanuels in flüssiger Umgebung. Die Kügelchen von *Vibrio* sind aber im Vergleich mit den nur kurz sich erhaltenden *Glaucosakugeln* viel fester und dauerhafter, was nicht zu verwundern ist, wenn man ihre starre Hülle, deren die letzten entbehren, in Betracht nimmt.

störungsbild der Zelle, wie es bei höheren Konzentrationen des Agens entsteht, stellt Fig. 30 (Taf. VI) dar. Es bleibt nach der Zelle ein Gerüst mit den gestäubten Wimpern übrig; der flüssige Inhalt ergießt sich in Blasen, die nacheinander bersten; bei *a* ist noch die letzte geblieben.

Nicht so charakteristisch und auch viel schwächer war die Wirkung einer gesättigten wässrigen Chloroformlösung, einer 5 proz. Ätherlösung und 0,2 proz. Phenollösung. Die Wirkung dieser Agentien in den angegebenen Konzentrationen äußerte sich hauptsächlich in den verschiedenen Bewegungsänderungen. So z. B. verursachte Chloroform eine kegelförmig drehende Bewegung der Zelle unter öfterem Umkippen des ganzen Körpers<sup>1)</sup>; eine drehende Bewegung schien auch Phenol zu verursachen, während die Wirkung des Äthers hauptsächlich eine lähmende war.

### *Vorticella.*

Da durch Ammoniak sich verhältnismäßig die größten Gestaltsänderungen an der lebenden *Glaucoma*-Zelle hervorbringen ließen, wurde bei der *Vorticella* die Hauptaufmerksamkeit auf die Wirkung dieses Agens gelenkt. Als Gegenteil kam Essigsäure zur Anwendung.

Im allgemeinen ist *Vorticella* ebenso für  $\text{NH}_3$  wie für Essigsäure weniger empfindlich als *Glaucoma colpidium*. Die morphologischen Veränderungen sind denjenigen bei *Glaucoma* im Grunde ähnlich. Nach 10 bis 15 Minuten Wirkung einer 0,05 bis 0,1 proz.  $\text{NH}_3$ -Lösung bemerkt man ebenso das Heranwachsen der Vakuole, welche zu pulsieren aufhört, im Zellinneren, dann das Entstehen von Blasen am Peristomfeld, welches selbst auch blasenförmig aufgetrieben wird. Jetzt kommen auch die Wimpern zum Stillstand und die Zelle schwillt in ihrem ganzen Körper, ganz bedeutend am unteren kegelförmig zugespitzten Teil, welcher bauchförmig erweitert wird (Taf. VI Fig. 31). Die dem Tode schon nahe stehende Zelle rollt ihren Stiel langsam ein, um ihn nach dem Tode wieder zu entrollen; die mittlere kontraktile Faser erscheint dann in Stücke zerrissen, was beweist, daß ihr Absterben in der „Kontraktionsphase“<sup>2)</sup> erfolgt. Dauert die Wirkung der schädlichen Dämpfe fort, so platzt schließlich die Zelle an der am meisten angegriffenen Stelle des oberen Teils; am längsten bleibt die Myoidscheide erhalten.

<sup>1)</sup> Vgl. ALBERT DEGEN S. 173.

<sup>2)</sup> MAX VERWORN: Die Bewegung der lebendigen Substanz. Jena 1892.

Die Säure ist hier in einer 1proz. Lösung noch fast ganz ohne Wirkung; diese tritt erst bei 2proz. Konzentration ein. Bevor die Zerstörung des Organismus beginnt, sieht man hier auch zuerst den Zellinhalt deutlich hervortreten: den langen gekrümmten Kern, den Körnerinhalt des Protoplasmas und den Myoidstreifen im Stiel. Die Einrollung des Stieles vor dem Tode erfolgt hier ganz ebenso wie bei  $\text{NH}_3$ -Wirkung.

Auch bei anderen Infusorien, die gelegentlich, z. B. bei der Jauchenuntersuchung im Hängetropfen erschienen, konnte eine ähnliche Wirkung der Ammoniakdämpfe konstatiert werden, so daß die Blasenbildung und die Auftreibung des ganzen Körpers wahrscheinlich eine allgemeine Erscheinung unter dem Einfluß der ammoniakalischen Dämpfe bei den Infusorien ist.

### *Euglena oxyuris.*

Das Verhalten von *Euglena oxyuris* gegenüber ammoniakalischer und essigsaurer Dämpfe bietet keine prinzipiellen Unterschiede betreffs der dabei stattfindenden Formveränderungen. Essigsäure bis zu 0,1proz. Konzentration schien anfangs gar keine nachteilige Wirkung auf die Organismen auszuüben. Im Gegenteil, sie waren unter der Wirkung verdünnter saurer Dämpfe mehr beweglich, als beim Verschließen der Spaltöffnung mit Wasser und zeigten dieselbe hohe Empfindlichkeit auf die Richtung der sie beleuchtenden Sonnenstrahlen, wie sonst. Erst nach einer längeren Wirkungsdauer, z. B. nach  $1\frac{1}{2}$  Stunde konnte man sehen, daß in dem sauren Tropfen schon absolute Ruhe herrschte mit den in der Mitte des Tropfens versunkenen Zellen, während in reinem Wasser einige in vertikaler Stellung im Schweben sich hielten, andere durch Zittern ihr Leben bezeugten.

Viel empfindlicher waren die Organismen gegenüber Ammoniak. Man konnte die Wirkung einer 0,02proz. Lösung etwa nach 10 Minuten sehr deutlich wahrnehmen: in der Mitte des Tropfens zu einem Hanfen versammelt sind die Zellen nur noch ganz schwach an der Stelle beweglich. Ihre äußere Gestalt bietet kein einheitliches Bild: die einen sind gestreckt, die anderen zusammengezogen, in den metabolischen Bewegungen alle deutlich gelähmt. Ersetzt man in diesem Stadium die  $\text{NH}_3$ -Lösung im Spalt durch 0,1proz. Essigsäure, so sieht man nach einer gewissen Zeit, daß einige von den Zellen mehr lebendig werden und sich auch in der Lichtrichtung durchzarbeiten

suchen. Die abgestorbenen Zellen, nach längerer Wirkung von  $\text{NH}_3$  und Essigsäure, haben alle dieselbe Gestalt: sie sind in der Mitte etwas aufgebläht, weisen keine größeren Einbiegungen des Körpers auf, wie man das bei den lebendigen immer sieht (Taf. VI Fig. 32), und besitzen meistens je eine große Vakuole in der Mitte (Taf. VI Fig. 33). Irgend welche blasige Auftreibungen an der Körperoberfläche wurden auch bei stärkerer Ammoniakwirkung (bis 0,1 Proz.) nicht bemerkt.

Eigenartig und in gewisser Beziehung unvergleichbar ist die Wirkung der Anilindämpfe auf die Gestalt von *Euglena oxyuris*.

Wird der Spalt mit halbgesättigtem oder gesättigtem Anilinwasser geschlossen, so sieht man, daß jede *Euglena*-Zelle, welche in die Wirkungssphäre der Anilindämpfe kommt, zuerst in ihrer fortschreitenden Bewegung angehalten wird. Die Zelle wird manchmal ganz gerade stabförmig, manchmal kommaartig gekrümmt, immer aber hat sie zeitweilig die metabolische Bewegungsart verloren und sieht aus, als ob sie ausgezogen wäre (Taf. VI Fig. 34).

Ersetzt man sofort die Anilinlösung durch Wasser, so gewinnen die Zellen ihre Beweglichkeit wieder; sie drehen sich spiralg unter den mannigfaltigsten Gestaltsänderungen (Taf. VI Fig. 25). Läßt man die Anilindämpfe länger wirken, so ziehen sich die Zellen später auch zusammen, und zwar beginnt die Verdickung meistens am hinteren Ende, wobei nur der starre Schwanz aus der birnenartig verdickten Zelle hervorragt; das Vorderende wird zuletzt eingezogen (Taf. VI Fig. 36). Man könnte sagen, daß die normale spiralg gekrümmte metabolische Bewegung der *Euglena*-Zellen in eine geradlinige übergegangen ist.

Die unter der Wirkung von Anilindämpfen abgestorbenen Zellen haben die normale Gestalt (Taf. VI Fig. 33).

Wahrscheinlich ist es die Beschaffenheit der Zellwand, welche den Unterschied des Verhaltens der *Euglena* im Vergleich zu den Infusorien gegenüber der chemischen „Reize“ bedingt (die ganz spezifische Wirkung von Anilin ausgenommen). *Euglena* wird in dieser Beziehung viel besser geschützt, wie das aus ihrem ganzen Verhalten ohne weiteres ersichtlich ist.

### *Amoeba proteus*.

*Amoeba proteus* kann in ihrer Empfindlichkeit gegenüber der Wirkung saurer und ammoniakalischer Dämpfe mit *Vorticella* verglichen werden. Wie diese ist auch jene viel empfindlicher gegen

die Ammoniakwirkung als gegen Säurewirkung. Der Unterschied ist hier noch größer, indem einer 0,05—0,1proz.  $\text{NH}_3$ -Lösung erst eine 5—10proz. Säurekonzentration entspricht. Die anfängliche Reaktion der Zelle ist immer dieselbe: die Aussendung von Pseudopodien hört auf, anstatt deren kurze Höcker von allen Seiten her ausgestreckt werden. Diese Höcker werden immer kleiner, erscheinen aber dafür immer zahlreicher, so daß nach einiger Zeit die ganze Zelloberfläche wie mit Warzen bedeckt ist (Taf. VI Fig. 37). Anfangs bekommt man den Eindruck, daß die von der schädlichen Wirkung des Agens betroffene Zelle allseitig einen Ausweg von ihrer Lage sucht; später, nachdem der ganze Plasmaklumpen ringsherum gleichmäßig warzig geworden ist und einige Zeit ruhig in dieser Gestalt verbleibt, scheinen die Oberflächenspannungsverhältnisse des aus dem lebendigen Organismus entstehenden Flüssigkeitstropfens ins Hauptspiel zu treten. Das definitive Erlöschen des Lebens in der Zelle bezeugt sich durch allmähliche Ausgleichung ihrer Oberfläche — sie wird endgültig zu einem strukturlosen Flüssigkeitstropfen. In der Tat, entfernt man das schädlich wirkende Agens, bevor der Organismus getötet wird, d. h. bevor er zur vollkommenen Abrundung gekommen ist, so gelingt es, ihn wieder zum normalen Leben zu bringen. Der körnige Inhalt der Zelle tritt nach einer Ruhezeit (etwa  $\frac{1}{2}$  Stunde) deutlicher hervor, es beginnt die Arbeit der Vakuole und es dauert nicht lange, so sieht man die Amöbe sich wieder phlegmatisch hin und her herumwälzen. Kommt aber die Besserung der Lebenslage zu spät, so tritt auch keine Heilung mehr ein: die zu einem Tropfen gewordene Amöbe läßt sich nicht wieder beleben; früher oder später platzt sie ganz wie die abgerundete *Glaucoma*-Zelle (Taf. VI Fig. 29).

Das ganze Spiel kann sehr verkürzt werden, eventuell fast mit Umgehen des Warzenstadiums, wenn vom Anfang an mit einer stärker konzentrierten Ammoniaklösung gewirkt wird. Dann bemerkt man nur eine rasch eintretende Abrundung des Amöbenkörpers, ihre „Totenstarre“, welcher unmittelbar das Platzen folgt. Eine noch energischere momentane Wirkung kann man mit starker Essigsäure (über 10 Proz.) erreichen: die Amöbe wird nicht einmal abgerundet, sondern an der Stelle in ihrer momentanen Lage fixiert (Taf. VI Fig. 38) und kurz darauf zerstört. Bei nicht so energischer Säurewirkung erfolgt in der getöteten Zelle eine Sonderung ihres Inhaltes in zwei Schichten: die innere dunklere Partie ist mit einer durchsichtigen Zone umgeben (Taf. VI Fig. 39).

Die Wirkung der Anilindämpfe war im allgemeinen derjenigen

von Ammoniak gleich, nur insofern milder, daß die Wiederbelebung der angegriffenen Zelle aus dem Warzenstadium leichter und rascher erfolgte.

### Résumé.

Die vollkommene oder partielle Abrundung verschiedener einfacher Organismen, wie Rhizopoden, Infusorien usw. unter der Wirkung gewisser chemischer Substratänderungen ist lange bekannt. Bei den Rhizopoden führt sie VERWORN<sup>1)</sup> zusammen mit anderen Erscheinungen, wie „Ausstoßen von Körperinhalt (Nahrungsmassen, Körnchen, hyalinen Kugeln mit mehr oder weniger Flüssigkeit, ja sogar von Plasmateilchen und Zellkernen usw.) . . . auf eine Kontraktion des Protoplasmakörpers oder einzelner Teile desselben zurück“.

Prof. ART. MEYER hat vor kurzem<sup>2)</sup> über die Abrundung bei *Bacillus cylindricus* berichtet. In dieser Schrift ist sie für *Vibrio proteus* nachgewiesen. Wahrscheinlich kommt diese Erscheinung noch viel öfter im Bakterienreiche vor. Hier wird die Abrundung nicht durch Kontraktion, vielmehr durch eine Aufblähung der Organismen hervorgebracht. Für *Vibrio proteus* erwies sie sich als eine Krankheits- und Schwächungserscheinung und kann in diesem Falle als „vortödlich“ bezeichnet werden. Auch bei den Infusorien und z. B. bei *Euglena* ist eine teilweise Abrundung der Körpergestalt die Folge einer Aufblähung des Organismus und wird durch gewisse Diffusionsstörungen verursacht. Hier ist aber diese Deformation für den Organismus viel weniger gefährlich als bei den Bakterien, was wahrscheinlich mit den Strukturverhältnissen der Bakterienmembran im Zusammenhange steht.

Die Teilungsversuche an den niederen Organismen<sup>3)</sup> haben gezeigt, wie leicht die Merozoiten ihre Pelliculahülle zu regenerieren imstande sind. Die beschriebene Wiederbelebung und Heilung der durch Alkoholwirkung angegriffenen *Glaucoma*-Zellen bietet auch ein Zeugnis ihrer großen Regenerierungsfähigkeit. Bakterielle Merozoiten sind bis jetzt, scheint mir, nicht bekannt. Ihr Verhalten

<sup>1)</sup> MAX VERWORN: Psycho-physiologische Protistenstudien. Jena 1889.

<sup>2)</sup> ART. MEYER: Über Kugelbildung und Plasmoptyse der Bakterien. Ber. d. Deutsch. bot. Ges. 1905 S. 349.

<sup>3)</sup> S. PROWAZEK: Beiträge zur Protoplasmaphysiologie. Biol. Centralbl. 1901.

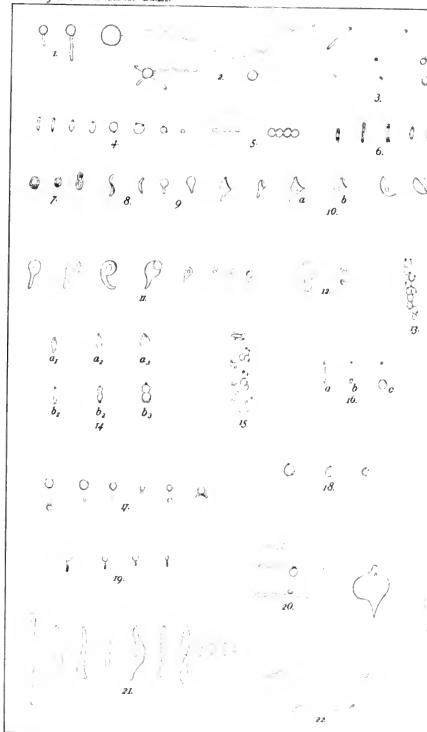
MAX VERWORN: Psycho-physiologische Protistenstudien.

würde die wichtigsten Schlüsse in bezug auf die Rolle der Membran im Leben dieser Organismen ziehen lassen. Vielleicht würde sich dann die Unterscheidung der Organismen nach dem Alter ihrer Hüllen rechtfertigen und auch die innige Verbindung des ausgeschiedenen Plasmatröpfchens mit dem anhängenden Häutchen bei der Plasmoptyse von *Vibrio proteus* begründen lassen.

Was schließlich diese letzte Erscheinung betrifft, so hat die vor einigen Jahren ausgesprochene Hoffnung,<sup>1)</sup> daß die ausgeschiedenen Protoplasmaegebilde „in geeigneter Lösung neue Membranen bilden und nach ausreichender Kräftigung wieder zu neuen Individuen von normaler Gestalt auswachsen würden“, bis jetzt sich nicht erfüllt.

Die Plasmoptyse, ebenso bei *Vibrio proteus*, wie bei anderen Bakterien, ist eine Ausscheidung von Protoplasma an gewissen Körperstellen des betreffenden Organismus, welcher deformiert (noch einige Zeit) am Leben bleibt. Ob Plasmoptyse immer eine tödliche und irreparable Erscheinung ist, weiß man nicht. Von seiner „alten Haut“ wird der Organismus — so viel bis jetzt bekannt — nicht getrennt und es ist eine offene Frage, ob er überhaupt ohne diese Haut leben kann.

<sup>1)</sup> ALFRED FISCHER: Die Empfindlichkeit der Bakterienzelle und das bakterio-  
cide Serum. Zeitschr. f. Hyg. u. Infektionskrankh. 1900.







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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Archiv für Protistenkunde](#)

Jahr/Year: 1907

Band/Volume: [9 1907](#)

Autor(en)/Author(s): Garbowski Ludwik

Artikel/Article: [Gestaltsänderung und Plasmoptyse. 53-83](#)