

**Die chemische Ursache des Lebens : theoretisch und experimentell  
nachgewiesen / von Oscar Loew und Thomas Bokorny.**

**Contributors**

Loew, O. 1844-  
Bokorny, Thomas.

**Publication/Creation**

München : J.A. Finsterlin, 1881.

**Persistent URL**

<https://wellcomecollection.org/works/zh82wkfh>

**License and attribution**

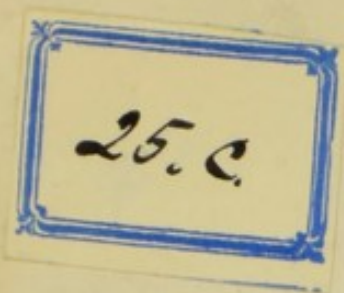
This work has been identified as being free of known restrictions under copyright law, including all related and neighbouring rights and is being made available under the Creative Commons, Public Domain Mark.

You can copy, modify, distribute and perform the work, even for commercial purposes, without asking permission.



Wellcome Collection  
183 Euston Road  
London NW1 2BE UK  
T +44 (0)20 7611 8722  
E [library@wellcomecollection.org](mailto:library@wellcomecollection.org)  
<https://wellcomecollection.org>

K12164

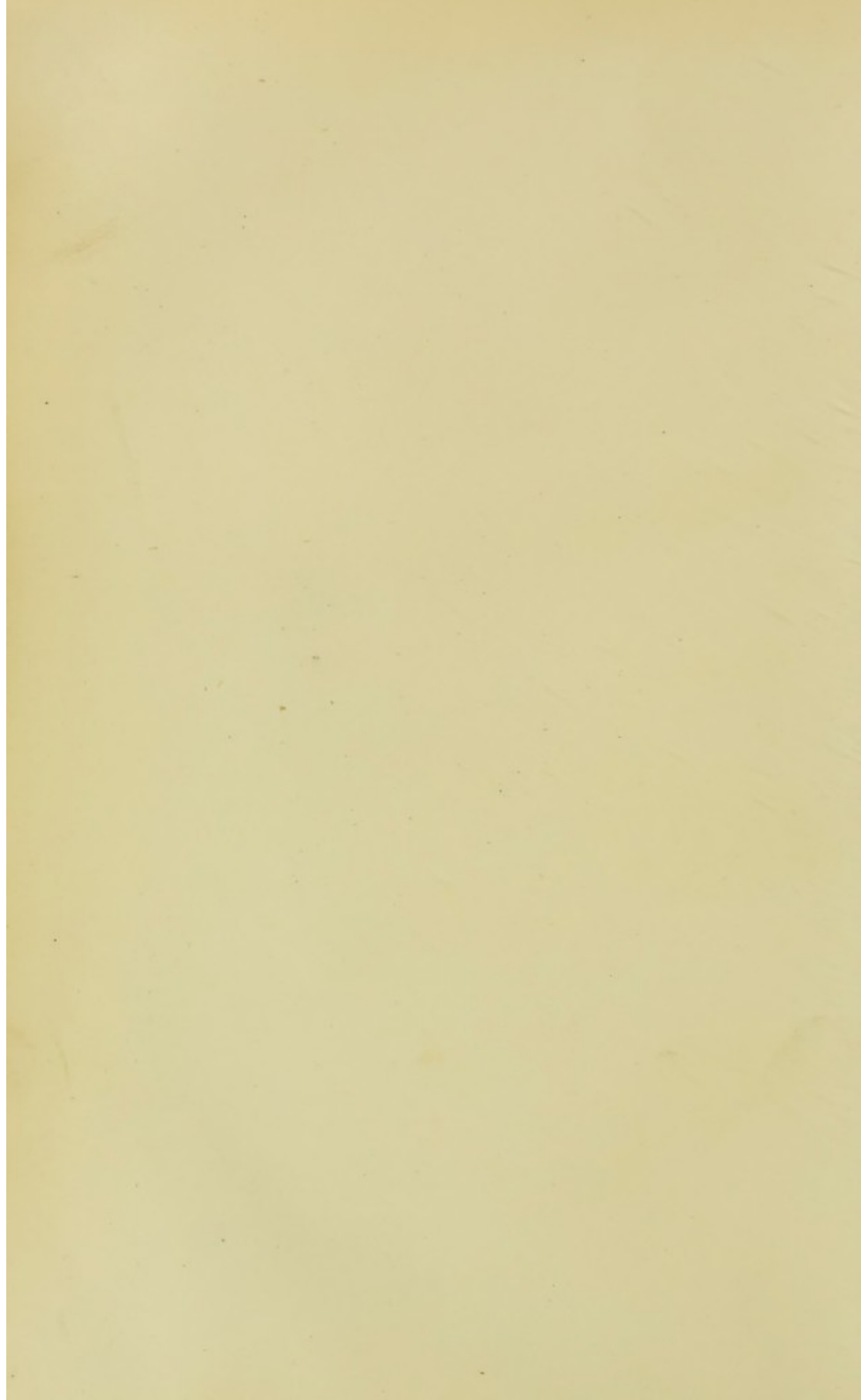


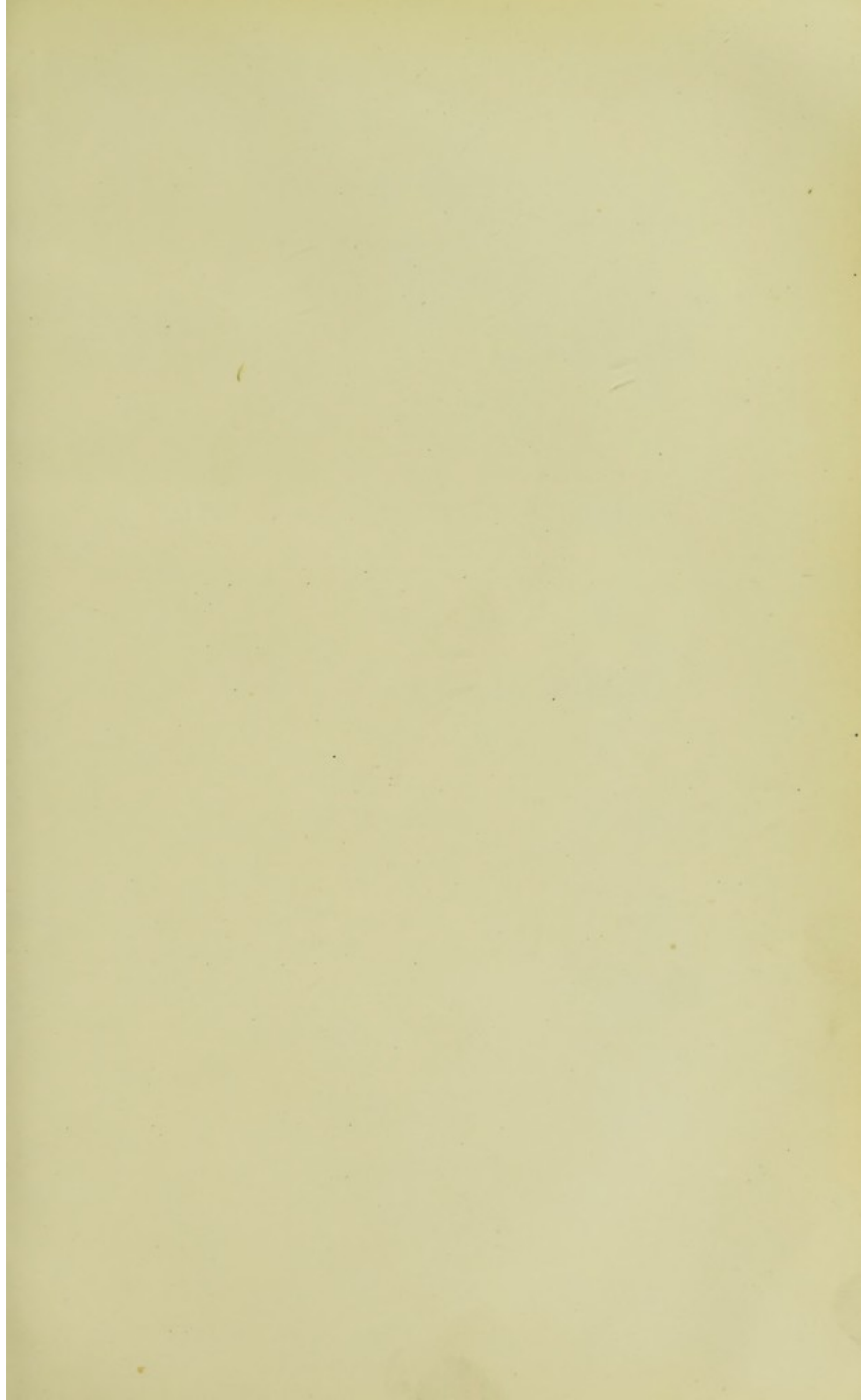
22900370597

Med

K12164









Digitized by the Internet Archive  
in 2016

<https://archive.org/details/b28091255>

CHECKED.

DIE  
CHEMISCHE URSACHE  
DES LEBENS

THEORETISCH UND EXPERIMENTELL  
NACHGEWIESEN

VON

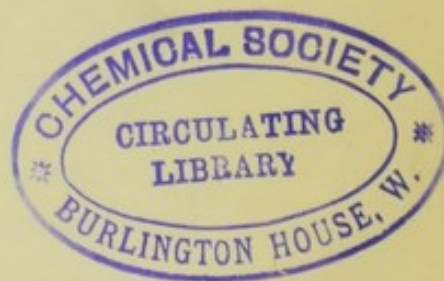
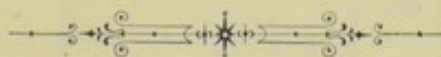
OSCAR LOEW UND THOMAS BOKORNY

IN

MÜNCHEN.

2033

(MIT EINER COLORIRTEN TAFEL.)



MÜNCHEN 1881.

IN COMMISSION BEI JOS. ANT. FINSTERLIN.

12806

19. 698 785

WELLCOME INSTITUTE LIBRARY	
Coll.	welMOMec
Call No.	QU



## VORWORT.

---

Seit dem Jahre 1828, als durch Wöhler die erste Synthese eines organischen Körpers, des Harnstoffs, bekannt wurde, hat man die ältere Anschauung, welche der Lebenskraft eine ganz besondere Stellung zuerkannte, verlassen und man betrachtet diese nun als das Resultat chemischer und physikalischer Processe.

Hiemit hat man sich bis jetzt begnügt, trotzdem man bei genauerer Ueberlegung sich sagen musste, dass die lebenden Organismen in ihrer Atmung, Assimilation, in den zahlreichen uns so ausserordentlich verwickelt scheinenden Synthesen denn doch ein so überaus merkwürdiges Verhalten zeigen, dass eine genauere Präcision jener seltsamen, das lebende Protoplasma beherrschenden chemischen Tätigkeit als ein sehr erwünschter Fortschritt zu begrüßen gewesen wäre.

Merkwürdiger Weise wurde bis zum Jahre 1875 nie der Gedanke einer chemischen Verschiedenheit zwischen totem und lebendem Protoplasma laut, ja bis heute halten noch fast alle Physiologen an der Anschauung fest, dass hier völlige chemische Identität herrsche, obwol in diesem Falle die Lebensursache kaum je erklärt werden könnte. E. Pflüger war der erste, der — im genannten Jahre — in einer epochemachenden Abhandlung (*Pflüger's Archiv* X. 251): »Ueber physiologische Verbrennung in den lebendigen Organismen« in streng logischem Gedankengang die Notwendigkeit der chemischen Verschiedenheit zwischen lebendem und totem Protoplasma

betonte. Dieses Vorgehen, durch welches an einem alten Dogma energisch gerüttelt wurde, blieb nicht lange ohne Folgen.

Als der eine von uns nämlich im vergangenen Jahre eine Hypothese über die Bildung des Albumins (*Pflüger's Archiv* XII. 510) aufstellte und sich nach dieser eine Formel construirte, fielen ihm darin eine Anzahl unveränderter Aldehydgruppen auf, welche in die Nähe von Amidgruppen zu stehen kamen, was urplötzlich die Idee erzeugte, dass in den durch intensive Atombewegung sich auszeichnenden Aldehydgruppen auch die Urquelle der lebendigen Bewegung im Protoplasma zu suchen sei, der Tod aber in einer Verschiebung der Aldehyd- mit den Amidgruppen.

Bald darauf gelang es uns beiden, Aldehydgruppen im lebenden Plasma wirklich nachzuweisen, worüber wir in *Pflüger's Archiv* XXV. und im *Biologischen Centralblatt* I bereits Mittheilung gemacht haben. Bei der Wichtigkeit der Sache haben wir es für passend erachtet, die Beobachtungen weiter auszu-dehnen, die Theorie gründlicher auszuarbeiten, und das Ganze in einer Broschüre niederzulegen. Die beigegebene colorirte Tafel dürfte dem Leser das Verständniss der beschriebenen Reaction wesentlich erleichtern.

So entstand dieses Schriftchen, dessen erster, theoretischer, Teil von O. Loew allein, dessen zweiter experimenteller Teil von uns beiden zusammen herrührt.

*München, im September 1881.*

*O. Loew.*

*Th. Bokorny.*

# THEORETISCHER THEIL.

---

THEORETICAL



## I. Die Entstehung des Albumins.

Im Herbste vorigen Jahres hatte ich eine Hypothese über die Bildung des Albumins<sup>1)</sup> aufgestellt, welche das Vorhandensein von Aldehydgruppen im lebenden Plasma voraussehen liess. Durch den darauf folgenden tatsächlichen Nachweis derselben von mir und Bokorny<sup>2)</sup> hat jene Hypothese ohne Zweifel sich einen erhöhten Anspruch auf Berechtigung erworben. Wegen des Zusammenhangs jener Hypothese über die Eiweissbildung mit dem Nachweise von Aldehydgruppen im lebenden Plasma wird es nötig, auf dieselbe hier nochmals und näher einzugehen.

Nach Hunt sollen die Proteinstoffe aus Zucker und Ammoniak entstehen und die »Nitrile« des Zuckers vorstellen, nach R. Sachsse aus Asparagin unter Wasseraustritt und Anlagerung von Aldehyden fetter Säuren; nach Schützenberger sind sie complexe Ureide. Was ich wahrscheinlich zu machen suche, ist, dass Albumin in ähnlicher Weise wie der Zucker ein Condensationsproduct eines verhältnissmässig einfach constituirten Körpers ist.

Schon die Thatsache, dass wir keine unmittelbaren Vorstufen der Proteinstoffe — respective des Peptons — im Pflanzenleib auffinden, ist bemerkenswert. Man weiss bis jetzt nur, dass das so einfach constituirte Asparagin überall da vorhanden ist, wo lebhafter Eiweissumsatz stattfindet. In gewissem Grade der Uebereinstimmung mit jener Tatsache mangeln auch alle Zwischenproducte, welche die augenscheinliche grosse Kluft zwischen den Proteinstoffen auf der einen und ihren bekannten Zersetzungsproducten auf der anderen Seite ausfüllen könnten. Man versucht vergeblich, die Zersetzung des Peptons durch Säuren so zu leiten, dass dem letzteren noch nahestehende Spaltungsproducte erhalten würden, und stets treten sofort vier Amidosäuren einfacher Structur

<sup>1)</sup> Pflügers Archiv XXII. 503.    <sup>2)</sup> Pflügers Archiv XXV. 105.



auf. Dass indessen diese nicht als ursprüngliche Constituenten der Proteinstoffe gelten können, sondern als das Resultat beträchtlicher Umwandlungen erklärt werden müssen, dürfte keinem Zweifel begegnen, wenn wir mit der Zersetzung durch Säuren die Resultate vergleichen, zu welchen Schützenberger durch Spaltung mit Barythydrat gelangte. Dieser Forscher hat daraus nicht weniger als 11 Amidverbindungen erhalten. Es dürfte daher die Ansicht Mancher, dass Asparaginsäure, Glutaminsäure, Leucin und Tyrosin in den Pflanzen speciell gebildet würden, um unter Eintritt von Ammoniak und Schwefel zu Proteinstoffen zu werden, sehr wenig Wahrscheinlichkeit beanspruchen können; ferner dürften sich Winke für Synthesen aus den bis jetzt bekannten Zersetzungen überhaupt nicht ergeben.

Werfen wir nun einen Blick auf die Eiweissbildung in den Pilzen. Die neuesten Forschungen Nägeli's haben unstreitig dargethan, dass Schimmel- und Spaltpilze aus ganz einfach constituirten Körpern — essigsaurem Ammoniak z. B. — ihr Eiweiss zu erzeugen im Stande sind<sup>1)</sup>. Diese Pilze vermögen ferner nicht nur aus Sulfaten ihren Schwefel-, sondern auch aus Nitraten ihren Stickstoffbedarf zu decken und es möchte fast jenen gewaltigen Synthesen und diesen Reductionen gegenüber der Schritt bis zur Kohlensäurezersetzung bei den grünen Gewächsen als nur noch ein geringer erscheinen. Dabei ist zu beachten, dass diese synthetischen Vorgänge von energischen Oxydationen durch den Luft-sauerstoff begleitet sind, und doch gleichzeitig Bildung von sauerstoffarmen Körpern, wie Fetten, Platz greift. Nur in speciellen Fällen (Gegenwart von gärfähigen Körpern) ist der gasförmige Sauerstoff entbehrlich.

Bemerkenswert ist nun, dass, wie Nägeli gefunden hat, Körper von der verschiedensten Constitution von den niedern Pilzen zum Eiweissaufbau benutzt werden können z. B. Leucin, Asparagin, Propylamin und bei Gegenwart von Ammoniak: Zucker, Mannit,

<sup>1)</sup> Für weinsaures Ammon hatte dieses schon früher Pasteur nachgewiesen. Da Glycolsäure noch zur Assimilation dienen kann, so wird die Glyoxylsäure, aus der durch Spaltung Glycolsäure und Oxalsäure entstehen, das letzte verwendbare Glied bei den Säuren darstellen. Nägeli hat gezeigt, dass Oxal- und Ameisensäure den Pilzen nicht mehr zur Assimilation dienen können.



Butylalkohol, Glycerin, Essigsäure, Bernsteinsäure<sup>1)</sup>, Chinasäure u. s. w. Es lässt sich daher schliessen, dass aus allen diesen so sehr verschiedenen Körpern ein und dieselbe Atomgruppe behufs Verwendung abgespalten wird; denn dass die Molecule der Nährstoffe als ganze durch Molecularverschiebung zum Eiweissaufbau tauglich gemacht werden sollten — daran ist wohl im Ernste nicht zu denken.

Meiner Ansicht nach ist  $\text{CHOH}$ , das Isomere des Ameisensäurealdehyds oder Methylenoxyds jene erste zur Eiweissbildung dienende Gruppe. Die Pilze können sie durch Oxydation bilden z. B. aus Essigsäure oder sie abspalten, wo sie bereits vorhanden ist z. B. aus Weinsäure, wobei die Nachbargruppen durch Oxydation oder Gärthätigkeit entfernt werden. Eine andere zu Synthesen taugliche Gruppe ist nicht denkbar, wenn so einfach constituirte Körper wie essigsaures Ammon oder Methylamin zum Eiweissaufbau verwendet werden.

Vier dieser Gruppen müssen nun mit 1 Molecul Ammoniak zusammentreten, wenn ein Körper entstehen soll, welcher durch Condensation das Eiweiss zu liefern im Stande wäre; denn in diesem ist das numerische Verhältniss der Kohlenstoff- zu den Stickstoffatomen wie 4:1. Berücksichtigen wir nun, dass bei den höheren Gewächsen Asparagin als ein wichtiges Glied bei der Eiweisbildung nachgewiesen ist und dass bei Condensationen vorzugsweise Aldehyde in Betracht kommen, so gelangen wir zum Aldehyd der Asparaginsäure<sup>2)</sup>.

---

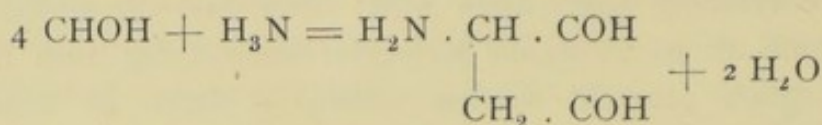
<sup>1)</sup> Essigsäure und Bernsteinsäure, auch Leucin ernähren nur unter Luftzutritt, weinsaures Ammon und Asparagin bei manchen Spaltpilzen aber auch unter Luftabschluss; gewiss nur, weil in letztem Falle zur Eiweissbildung taugliche Gruppen bereits vorhanden sind und nicht erst durch Oxydation gebildet zu werden brauchen.

<sup>2)</sup> Ammoniak gibt mit Methylenoxyd unter gewöhnlichen Umständen zwar keinen derartigen Körper, sondern Hexamethylentetramin; indessen sind die Verhältnisse in einer lebenden Zelle doch so verschieden, dass hierin kein ernstlicher Widerspruch zu erblicken ist.

Aldehyde von Amidosäuren sind bislang noch nicht dargestellt, dürften aber grosses Interesse darbieten. Versuche, die ich anstellte, zum Aldehyd der Asparaginsäure zu gelangen, führten leider nicht zum Ziele, da die Asparaginsäure bei Behandlung mit  $\text{PCl}_5$  ihren Stickstoff als Salmiak verlor.

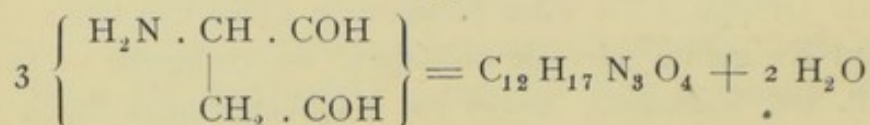
Die Bildung dieses bis jetzt noch nicht dargestellten Körpers kann nach folgender Gleichung vor sich gehend gedacht werden:

I.



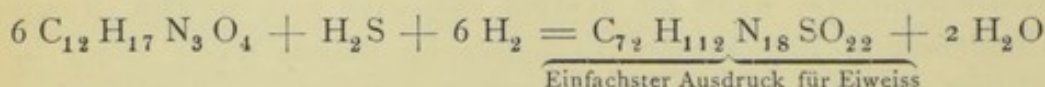
Die weiteren Condensationen kann man sich als in zwei Phasen stattfindend vorstellen:

II.



Hiebei werden von den vorhandenen 6 die Condensation bedingenden Gruppen COH nur zwei eingebüsst, wesshalb weitere Condensation möglich ist. Ich nehme an, dass diese durch reducirende Einflüsse und Eintritt des Schwefels bedingt wird:

III.



Diese dritte Condensation gestaltet sich wegen des Zutritts von Wasserstoff zu einem der Pinakonbildung analogen Process. Von den vorhandenen 24 Aldehydgruppen gehen 12 durch Aufnahme von je 1 Atom H in CH OHgruppen über, welche die neuen Bindungen herbeiführen, wie aus der weiter unten gegebenen Structurformel ersichtlich wird.

Es bleiben aber noch 12 Aldehydgruppen im fertigen Eiweisscomplex übrig, wodurch sowohl Polymerisationen <sup>1)</sup> als

<sup>1)</sup> Wahrscheinlich ist ohnediess, dass die Moleculargrösse des Albumins einem Multiplum der Lieberkühnschen Formel entspricht, ferner lassen die Untersuchungen Maly's und seiner Schüler keinen Zweifel mehr, dass die Proteinstoffe Polymerisationsproducte ihrer Peptone sind. Die Polymerisationsgrenze kann hier aber gar nie erreicht werden, weil stets mehr Aldehydgruppen vorhanden sind, als zu den Polymerisationen nötig sind und es können so die »Riesenmolecule« aus lebendigem Eiweissstoffe entstehen, zu welchen Pflüger bei seinen Betrachtungen gelangte. Pflüger nahm eine aetherartige Verknüpfung der Eiweissmolecule beim Wachsen der Organe an; eine Verknüpfung durch Polymerisation wäre offenbar ein ausserordentlich ähnlicher Vorgang.



auch weitere Condensationen ermöglicht werden, ferner aber eine energische Bewegung in den Moleculen erzeugt wird, welche als die Ursache der »Lebenskraft« angesprochen werden muss. Zum Nachweise der Aldehydgruppen im lebendigen Eiweiss, dem Protoplasma lebender Zellen, bedienten wir uns einer äusserst verdünnten alkalischen Silberlösung. Aus dieser schieden in der That die lebenden Zellen Silber ab, die toten aber nicht.

## II. Beweis, dass die Reduction der Silberlösung durch lebende Zellen auf Aldehydgruppen im Plasma zu deuten ist.

Obwohl sich nun chemischerseits gegen diese Beweisführung nichts einwenden lässt, haben sich doch manche Physiologen gegen meine Erklärungsweise ausgesprochen und ich sehe mich daher veranlasst, den chemischen Standpunkt dieser Frage genauer zu beleuchten und detaillirter auseinanderzusetzen, als das bis jetzt geschehen ist. — Ein Einwurf war, die Chemie sei noch nicht so weit entwickelt, dass man sichere Schlüsse aus Metallreduktionen auf die Natur der reducirenden Substanz ziehen könnte. Die Silberreduction sei durchaus nicht ein Beweis für Aldehydgruppen. Ein zweiter, dass irgend ein anderer sensibler Stoff des Zellinhaltes, aber nicht das lebendige Plasma selbst reagirt habe; ein dritter, dass die gewöhnlichen physikalischen Schwingungen des lebenden Plasmas <sup>1)</sup> in ähnlicher Weise eine Reduction von Silber bewirkt hätten, wie die Schwingungen des Weltäthers, die wir als Licht kennen, also dass keine spezifische Moleculargruppe in Reaction trete.

Bei der grossen Anzahl organischer Verbindungen, welche auf Lösungen von Metallen, wie Palladium, Gold, Osmium, Silber, Quecksilber und Platin reducirend wirken, möchte es allerdings dem Nichtchemiker auf den ersten Anblick scheinen, als ob hier keine Gesetzmässigkeit erkennbar sei; und dennoch ergibt sich für jedes dieser Metalle etwas Characteristisches, das zum grossen

<sup>1)</sup> Unter dem Ausdruck »Plasma« ist hier sämmtliches Eiweiss einer Zelle zu verstehen, welches lebendige, active Eigenschaften besitzt.



Teil durch die verschiedenen Affinitätsverhältnisse bedingt ist. Neutrale oder saure Metallsalzlösungen zeigen ferner häufig ein ganz verschiedenes Verhalten von alkalischen. Wir wollen im Folgenden das Verhalten einprocentiger Lösungen von Palladiumnitrat, Goldchlorid, Ueberosmiumsäure, Silbernitrat, Quecksilberjodid und Platinchlorid, ferner der mit Natron alkalisch gemachten Lösungen<sup>1)</sup> derselben Stärke näher betrachten.

Das Palladium vereinigt in Bezug auf Reducirbarkeit nicht nur die Charactere des Osmiums und des Silbers in sich, sondern nimmt in mancher Beziehung geradezu eine Ausnahmstellung ein, indem es aus neutraler Lösung schon von Körpern reducirt wird, welche Au, Ag, Hg, Pt bei Lichtabschluss nur aus alkalischen reduciren z. B. Glycerin und Aceton. Alle mehrwertigen Alkohole reduciren neutrale Palladiumnitrat-Lösung, ebenso Fettsäuren von Propionsäure an aufwärts, ferner Kohlenwasserstoffe. Crotonsäure reducirt aus neutraler, Weinsäure aber nur aus stark alkalischer Lösung, Bernstein- und Citronensäure sind ganz indifferent. Aethylaldehyd reducirt das Pd aus neutraler wie saurer Lösung. Während also das Pd auch von allen den Stoffen, welche das Os reduciren, wie Kohlenwasserstoffen und Fetten, eine wenn auch weniger energische Reduction wie letzteres erfährt, wird es ausserdem noch von wasserstoffärmeren Körpern, welche auf Osmiumlösung keine Wirkung mehr äussern, leicht reducirt. So wirkt z. B. Glycerin weder auf saure noch alkalische Os-Lösung, Aethylaldehyd aber nur auf alkalische; Aethylalkohol dagegen wirkt sowohl auf Ueberosmiumsäure als auch auf Palladiumnitrat bei Abwesenheit von Alkali reducirend ein.

Gold unterscheidet sich in seinem Verhalten insoferne vom Palladium, als es aus neutraler Lösung (als  $\text{AuCl}_3$ ) in der Regel viel weniger leicht abgeschieden wird<sup>2)</sup>; in alkalischer Lös-

<sup>1)</sup> Bei der Ag-Lösung wurde ausserdem noch etwas Ammoniak und bei der Hg-Lösung noch die nötige Menge KJ angewandt, um die Metalloxyde in der alkalischen Flüssigkeit in Lösung zu halten. Die Gemische wurden meist schwach erwärmt und blieb Lichtwirkung wegen rasch eintretender Reaction so gut wie ausgeschlossen.

<sup>2)</sup> Zu den, neutrale Goldlösung mit Leichtigkeit reducirenden, Körpern gehören besonders die mehrfach hydroxylierten Phenole und Derivate derselben.



ung freilich erfährt es so leicht und von so vielen Körpern Reduction, dass sichere Schlüsse nur für Ausnahmefälle möglich werden, z. B. bei sehr grossen Verdünnungen für Aldehyde. Ein- und mehrwertige Alkohole, Fettsäuren (mit Ausnahme der Essigsäure) Phenole, Amidverbindungen und Kohlenwasserstoffe, ja sogar die sonst sich so indifferent verhaltende Citronensäure reduciren alkalische Goldlösung mit Leichtigkeit. Manche Körper, wie z. B. Phenyllessigsäure, Benzoesäure, Anthrachinon sind aber ohne Wirkung. Ebenso wenig reducirt Bernsteinsäure, wohl aber Asparagin.

Die Ueberosmiumsäure characterisirt sich dadurch, dass sie nur als freie Säure<sup>1)</sup> und um so leichter reducirt wird, je mehr Wasserstoff in der organischen Verbindung enthalten ist und bildet also einen grossen Gegensatz zum Silberoxyd, für welches alkalische Reaction und Zunahme an Hydroxylgruppen in der organischen Substanz günstige Bedingungen der Reduction sind. Mit der Abnahme von Wasserstoff oder der Zahl der kohlenstoffhaltigen Glieder, ferner mit der Zunahme electronegativer Bestandteile nimmt die Fähigkeit der organischen Substanz sofort ab, die Ueberosmiumsäure zu reduciren. So wirkt wol Aethylalkohol, aber nicht Aldehyd auf die freie Säure; es wirkt wol Milchsäure, aber nicht mehr die um 1 O-atom reichere Glycerinsäure. Buttersäure wirkt rascher als Crotonsäure, Erythrit aber gar nicht. Glycerin, Mannit und Kohlehydrate sind ohne Wirkung. Toluol wirkt rascher als Benzol; Benzoesäure, Benzolsulfosäure, Nitrobenzol, Phenol aber verhalten sich indifferent. Einem Ausnahmefall begegnen wir bei den mehrfach hydroxylirten Benzolen und deren nächsten Derivaten, wie Pyrogallol, Gallussäure, Gerbsäure; doch geht die Reduction meist nur bis zum braunen oder blauen Oxyd, nicht bis zu Metall. — Der Eintritt von Amidgruppen in einen nicht reducirenden Complex ändert häufig das Verhalten; während Bernstein- und Benzoesäure nicht reduciren, wirken Asparagin und Amidobenzoesäure desoxydirend ein. — Reines Eiweiss und Pepton

<sup>1)</sup> Eine Ausnahme bildet das Verhalten gegen Aethylaldehyd, der nur die alkalische, aber nicht die saure Lösung reducirt. Die höheren Homologen desselben würden zwar auch die saure reduciren, aber nicht mit den Aldehydgruppen sondern durch die Zunahme der  $\text{CH}_2$ -Glieder.



reduciren nicht, dagegen Leucin, eine günstige Thatsache für meine Behauptung, dass das Leucin nicht präformirt im Eiweiss enthalten sei, sondern erst durch Umwandlungen daraus entstehe.

Was die Silberreduction betrifft, so ist diese auf ein weit geringeres Gebiet beschränkt. Weder Kohlenwasserstoffe noch Fettsäuren (Ameisensäure ausgenommen) noch Amidosäuren noch einwertige Alkohole haben eine Wirkung. Dagegen reduciren die *alkalische Silberlösung* energisch 3-, 4- und 6-wertige Alkohole<sup>1)</sup>. Dextrose und Lävulose reduciren sie noch bei sehr bedeutenden Verdünnungen. Auch gegen mehrfach hydroxylirte Benzolderivate ist sie sehr empfindlich, am empfindlichsten aber gegen Hydrazin- und Aldehydgruppen. Ketone (mit Ausnahme der leicht reducirenden Ketonalkohole) wirken nur auf relativ concentrirte Lösungen; Salze von Hydroxysäuren, wie Weinsäure, wirken schon auf 1 procentige alkalische Silberlösung kaum mehr ein. — Neutrale Silberlösung wird nur von wenigen Körperklassen reducirt, es gehören vor allem die mehrfach hydroxylirten Benzolderivate hieher.

Das Gebiet für Quecksilber ist bei grosser Aehnlichkeit mit dem des Silbers doch schon ein beschränkteres. Wol reduciren Aldehyde, mehrwertige Alkohole und mehrwertige Phenole die alkalische Quecksilberlösung, aber es thun dieses nicht mehrfach hydroxylirte Säuren, wie Weinsäure, auch wenn der Metallgehalt der Lösung weit über 1 Procent steigt. Während Glycose auf 1 procentige alkalische Hg- und Ag-Lösungen gleich energisch wirkt, übt Rohrzucker auf erstere bereits eine viel schwächere Wirkung und erst beim Erwärmen aus. Bei zunehmender Verdünnung der Quecksilberlösung nimmt die Wirksamkeit ungemein viel rascher ab, als bei der Silberlösung. — Ameisensaure Salze, Pyrogallol und seine Verwandte reduciren schon Quecksilber aus neutraler Lösung, Phenol dagegen vermag dieses nicht, obgleich es Gold, Palladium und Silber (aber nicht Osmium) aus neutralen oder sauren Lösungen beim Erwärmen abscheidet.

---

<sup>1)</sup> Es ist bei diesen Reactionen das Kochen der Mischungen zu vermeiden, da eine schwach ammoniakalische mit Natron versetzte Silberlösung schon beim Kochen für sich Silber abscheidet.



Das Platin ähnelt ebenfalls in seinem Verhalten zu reducirenden Substanzen dem Silber, es unterscheidet sich aber doch wieder in mancher Beziehung nicht unerheblich von diesem. So ist z. B. seine alkalische Lösung gegen Tartrate bedeutend empfindlicher als die Silberlösung, im Verhalten gegen Aldehyde aber findet gerade das Umgekehrte statt. In einigen Fällen scheint die Reduction bei der Bildung von Platinoxidul (resp. Chlorür) stehen zu bleiben, z. B. bei der Einwirkung von Phenol, Anilin, Amidobenzoessäure. In manchen Fällen ist die ungemeine Langsamkeit, mit der sich das Platin selbst beim Erwärmen abscheidet, bemerkenswert. —

Vergleichen wir das Verhalten der verschiedenen Metalllösungen nun speciell gegen Aldehydgruppen, so ergeben sich ganz auffallende Unterschiede. Alkalische Osmium- und Palladiumlösungen geben selbst bei 1 Procent Metallgehalt mit Aethyl-Aldehyd bei gewöhnlicher Temperatur nur sehr allmählig eine Metallabscheidung und bei der 10fachen Verdünnung erfolgt selbst beim Erwärmen dieselbe auffallend langsam. Die äusserst schwache, nur unter Mithilfe von Wärme zu erreichende Endreaction liegt etwa bei einem Verhältniss von 1 Metall auf 12000 Wasser. Aehnlich sind die Verhältnisse beim Platin. Eine momentane fast blitzschnelle Wirkung üben aber alkalische Quecksilber-, Silber- und Goldlösung schon bei gewöhnlicher Temperatur. Doch während beim Quecksilber die Reactionsgränze schon bei etwa  $\frac{1}{2000}$  Metallgehalt erreicht wird, reagiren Silber- und Goldlösung noch bei dem etwa hundertfachen dieser Verdünnung. Für Glycose und Gerbstoff liegt die Reactionsgränze der alkalischen Quecksilberlösung (im Gegensatz zur Silberlösung) weit jenseits der für Aldehyde — nämlich etwa bei  $\frac{1}{6000}$  Metallgehalt.

Erwähnenswert sind die Gegensätze, die sich im Verhalten von Silber- und von Palladiumlösung gegen Aethyl-Aldehyd offenbaren. Während bei alkalischer Reaction die letztere weit hinter der ersteren an Empfindlichkeit zurücksteht, reducirt der Aldehyd eine 1 procentige neutrale Palladiumnitratlösung mit Leichtigkeit, während er gegen neutrale Silbernitratlösung von derselben Stärke ganz indifferent ist. — Vergleicht man ferner die Wirksamkeit



der neutralen mit derjenigen der alkalischen Palladiumlösung, so ergibt sich hier ausnahmsweise nahezu die gleiche Reactionsgränze mit Aethylaldehyd — während beim Silber die auffallendsten Gegensätze hervortreten.

Stellt man nun das von Th. Bokorny und mir beobachtete, im II. Teile beschriebene Verhalten des lebenden Plasmas mit dem der Aldehyde in Parallele so wird man bezüglich der grossen Uebereinstimmung keinen Augenblick im Zweifel sein können. Alkalische Silber- und Goldlösungen werden nämlich von der lebenden Zelle noch bei ausserordentlichen Verdünnungen, alkalische Quecksilberlösung aber nur im concentrirten Zustand reducirt. Mit alkalischer nicht all zu verdünnter Platinlösung reagirt das Plasma nur äusserst schwach, mit alkalischer Osmium- und Palladiumlösung gelang uns aber eine Reaction gar nicht, offenbar weil die Reduction dieser Metalle durch Aldehydgruppen viel zu langsam vor sich geht und die Zellen mittlerweile durch das Alkali der Lösung getötet werden. — Die alkalische Quecksilberlösung liefert aber nur deshalb noch eine Reaction mit dem Plasma, weil Aldehydgruppen äusserst rasch das Quecksilber reduciren, also noch bevor die schädliche Wirkung des relativ bedeutenden Alkaligehaltes zur vollen Geltung kommen kann.

Für die Gold-, Quecksilber und Platinreaction wollen wir trotzdem eine nur untergeordnete Beweiskraft in Anspruch nehmen, aber die Silberreduction müssen wir mit aller Entschiedenheit als unumstösslichen Beweis für die Anwesenheit von Aldehydgruppen im lebenden Plasma erklären.

Es gibt keinen besseren Beweis für Aldehydgruppen, keine Reaction, die deutlichere Antwort gibt. Wol ist auch von V. Meyer eine mit schwefliger Säure entfärbte Rosanilinlösung als Reagens auf Aldehydgruppen empfohlen worden — indess ist dieses Mittel bei der lebenden Zelle aus mehreren Gründen gar nicht anwendbar; einmal ist die schweflige Säure ein heftiges Gift und zweitens wäre bei grosser Verdünnung die Rothfärbung viel zu schwach, als dass sie noch wahrgenommen werden könnte.

Ich habe früher, in der ersten Mitteilung, schon darauf hingewiesen, dass Pyrogallol, Gallussäure und Gerbsäure bereits das



Silber nicht mehr aus alkalischer Lösung abzuscheiden im Stande sind, wenn diese weniger als  $\frac{1}{12000} \text{ Ag NO}_3$  ( $= \frac{1}{19000} \text{ Ag}$ ) enthält und dass Formiate schon bei dem 12 fachen dieses Silbergehaltes nicht mehr reagiren. Glycose und Gerbstoff geben, wie im II. Theile auseinandergesetzt werden wird, mit äusserst verdünnten alkalischen Silberlösungen nur braune bis gelbe Färbungen.

Wir wollen zum Ueberfluss noch dem Einwurf näher treten, dass irgend ein anderer Bestandteil der lebenden Zellen, aber nicht das Plasma selbst reducirend auf die Silberlösung gewirkt habe. Welche Stoffe könnten hier in Betracht kommen? Wol nur solche, die bei Silber reducirender Eigenschaft eine allgemeine Verbreitung im Pflanzenreich besitzen — also Glycose und Gerbstoff.

Wir haben von Anfang an auf diese Stoffe gerade ein besonderes Augenmerk gerichtet und zahlreiche Versuche angestellt, welche eine sehr deutliche Antwort geben. Hier wird es wol genügen, kurz zu constatiren, dass Zellen Silber abscheiden, die keine Spur Glycose enthalten, und dass die Gerbstoffreaction durchaus nicht mit der Silberreaction zusammenfällt. <sup>1)</sup> Es lassen sich ferner die Zellen so töten, dass kein löslicher Stoff austritt; wie wäre hier nach dem Töten das Ausbleiben der Silberreduction erklärlich? Gesetzt aber auch, es wäre ein anderer, jetzt noch gänzlich unbekannter, leicht veränderlicher Körper von Aldehydnatur in den Zellen enthalten, wie wäre das merkwürdige Factum zu erklären, dass er genau mit demselben Moment seine Natur verändert, wenn die Zelle abstirbt? Wenn z. B. auf 40° erwärmte Spirogyren-Fäden noch reagiren, auf 50° erwärmte aber nicht, so müsste angenommen werden, dass jener Körper genau innerhalb jener Temperaturgränze seine Natur verändere, innerhalb welcher das Plasma abstirbt. Bokorny und ich haben die Zellen auf die manchfachste Weise getötet: durch Austrocknen, durch mechanischen Stoss, durch electriche Schläge, durch Aushungern (Lichtentziehung), durch Erstickung in Kohlensäure, durch Aetherdunst, Petroleum, Schwefelwasserstoff, Säuren und Alkalien, durch

<sup>1)</sup> Die stark mit der Silberlösung reagirende *Spirogyra nitida* Ktz. liess z. B. nur in den Chlorophyllbändern kleine Mengen Gerbstoff erkennen, nicht aber im übrigen Plasma.



Kochsalzlösung, durch Kupfervitriol und Salicylsäure und hiebei mit dem Absterben ein Ausbleiben der Silberreduction beobachtet. Es kann daher keinem Zweifel unterliegen, dass es das lebende Protoplasma oder allgemeiner: das aktive Eigenschaften an sich tragende Eiweiss des Zellinhalts ist, welches Aldehydgruppen enthält, die sich beim Absterben verschieben: Aus lebendem Protoplasma wird totes, aktives Albumin wird zu passivem. Es wird nicht nötig sein, auf die Vermutung, die lebende Zelle erzeuge Wasserstoffsuperoxyd oder gar nascirenden Wasserstoff und werde hiedurch die Silberreduktion bewerkstelligt, näher einzugehen. Wasserstoffsuperoxyd wurde von Bellucci trotz sorgfältigster Versuche nicht einmal in Spuren in Pflanzensäften aufgefunden<sup>1)</sup> und was den nascirenden Wasserstoff betrifft, so müsste derselbe jedenfalls Palladium ebenso leicht reduciren als Silber — abgesehen davon, dass diese Hypothese jeder soliden Grundlage entbehrt.

Dass nicht alles, was aus Protoplasma besteht, nicht jeder lebende Organismus Silber reducirt, haben Bokorny und ich schon in unserer ersten Abhandlung in Pflügers Archiv hervorgehoben. So erhielten wir z. B. keine Reaction bei den Spaltpilzen, bei manchen Algen, bei Wurzeln von Mais- und Erbsenkeimlingen, bei tierischen Geweben. Es können hier verschiedene Gründe massgebend sein. Ein Hauptgrund ist der, dass manches Protoplasma<sup>2)</sup> so sensibel ist, dass es beim Contact mit der Lösung fast momentan abstirbt, wie sich z. B. bei der Alge Sphäroplea leicht nachweisen lässt. Auch Gegenwart von Salzen verhindert die Reaction. Aus diesen negativen Fällen wird man doch keinen

---

<sup>1)</sup> Dass speciell im Chlorophyllkörper bei der Assimilation der Kohlensäure Wasserstoffsuperoxyd auftrate und dieses in Berührung mit dem lebenden Plasma momentan zerfalle und die Quelle des Sauerstoffs sei, der von den grünen Organen entwickelt wird — soll damit nicht im Mindesten bezweifelt werden. Im Gegenteil, ich halte dafür, dass diese geistreiche Hypothese Erlenmeyers sich noch als völlig richtig herausstellen wird.

<sup>2)</sup> Es kann nur solches Protoplasma aus der Silberlösung das Metall abscheiden, welches gewisse Eingriffe erträgt, ohne sofort in seiner ganzen Masse in Folge davon abzusterben. Die Resistenz variirt ganz ausserordentlich bei verschiedenen Organismen.



stichhaltigen Einwurf gegen die Erklärung für die positiven Fälle ableiten wollen.

Was einen weiteren möglichen Einwurf betrifft, dass das Silber nur in Folge der gewöhnlichen physikalischen Schwingungen des lebenden Plasmas — durch sogenannten katalytischen Einfluss — abgeschieden worden sei, ohne dass irgend eine spezifische Atomgruppe in den Moleculen des Eiweissstoffes in Reaction trete, dass also hier etwa ein ähnlicher Process vorliege, wie bei der Zersetzung des Wasserstoffsuperoxyds durch frisches Fibrin — so ist das rein Hypothetische dieses Erklärungsversuchs offenbar. Und könnte man Argumente hiefür beibringen, so wäre ein neues Rätsel an die Stelle des alten gesetzt!

### III. Folgerungen aus dem Nachweise der Aldehydgruppen im lebenden Plasma.

Pflügers Scharfsinn hat den Nagel auf den Kopf getroffen, wenn er urtheilte <sup>1)</sup>: Da wir keine Umänderung des gewöhnlichen Sauerstoffs in eine active Modification im Thierkörper wahrnehmen aber doch stetige Selbstoxydation beim lebenden Eiweiss statt hat, so müssen wir unbedingt eine chemische Verschiedenheit zwischen dem lebenden und dem toten Protoplasma und eine chemische Veränderung des toten Nahrungseiweisses annehmen, sobald es Bestandtheil der lebenden Zelle wird. — Pflüger suchte freilich nicht auf Aldehydgruppen die merkwürdigen Eigenschaften des lebenden Protoplasmas, sondern auf Cyangruppen zurückzuführen — indess das thut seinen klaren scharfsinnigen Betrachtungen nicht den mindesten Abbruch.

Mit dem Nachweise der Aldehydgruppen im Protoplasma erklärt sich nun eine ganze Reihe physiologischer Rätsel auf erstaunlich einfache Weise; doch bevor wir darauf näher eingehen ist noch eine kurze chemische Erörterung nötig.

Wir wissen, dass mit der Steigerung der inneren Bewegung eines Körpers (Wärmezufuhr) auch seine Zersetzlichkeit, seine

---

<sup>1)</sup> Pflüger's Archiv X p. 251.



Neigung sich mit anderen Körpern zu verbinden wächst. Umgekehrt dürfen wir schliessen, dass solche Körper, welche schon bei gewöhnlicher Temperatur leicht chemische Veränderungen erfahren, eine bedeutende Bewegung der kleinsten Teile oder wenigstens gewisser Atomgruppen besitzen. In dieser Beziehung sind aber verschiedene Klassen organischer Verbindungen ausserordentlich verschieden und es kann der chemische Blick schon aus der Formel, wenn sie die gegenseitige Lage der Atome symbolisch andeutet, das Verhalten beurteilen. Man hat diese Erscheinungen noch nicht unter einem allgemeinen Gesichtspunkt zusammengefasst; doch lassen sich folgende theoretisch leicht begründbare Sätze aufstellen:

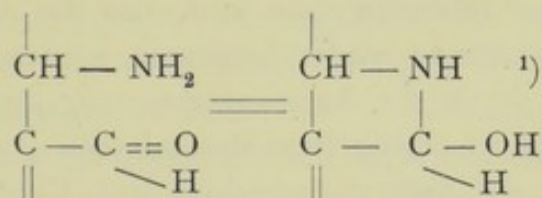
- I. Elemente oder Gruppen von gleich polarem Character (geringen electrischen Differenzen) bedingen, wenn sie an ein- und dasselbe Atom eines andern Elementes sich gebunden befinden, eine hohe Stabilität, geringe Beweglichkeit und Reagirfähigkeit der Gruppierung.
- II. Elemente oder Gruppen von ungleich polarem Character (grossen electrischen Differenzen) bringen an ein und dasselbe Atom eines dritten Elements gebunden, eine geringe Stabilität und grosse Beweglichkeit (rasche und weite Schwingungen) der Gruppierung mit sich.
- III. Sind an zwei benachbarten Atomen ein- und desselben Elementes ungleich polare Gruppen oder Elemente angebracht, so ist die Molecularbewegung grösser, als wenn sich gleich polare Gruppen an denselben Stellen befinden und es findet noch eine Steigerung der inneren Bewegung statt, wenn an einer längeren Kette (Kohlenstoffkette) positive und negative Elemente oder Atomgruppen alterniren.

Ich will nur an das merkwürdige Verhalten der Aldehyde erinnern, wie ihre chemische Energie bereits abgeschwächt wird, wenn das einzeln stehende Wasserstoffatom durch ein Kohlenwasserstoffradical ersetzt wird, also ein Keton entsteht. Während Aldehyd noch aus Ammoncarbonat die  $\text{CO}_2$  austreibt, und der Polymerisation fähig ist, ist das Aceton hiezu bereits unfähig geworden. Wird vollends jenes Wasserstoffatom durch Hydroxyl ersetzt, wird mit anderen Worten der Aldehyd zur Säure, so ist



jede Aehnlichkeit mit den früheren merkwürdigen Eigenschaften verschwunden. — Ich will ferner an das verschiedene Verhalten von Säureamiden und Amidosäuren gegen Kalilösung erinnern, ferner an das von Monobromacetylen, welches in Folge des eingetretenen Broms selbstentzündlich wird, an die allmähige Selbstoxydation des Bibromäthylens, an die Perkin'sche Reaction, bei welcher stets nur das dem Carboxyl nächste Glied in Reaction tritt, und an den Character des Acetessigesters. Manche scheinbare Ausnahmen werden sich wohl bei genauer Betrachtung ebenfalls den obigen Gesetzen fügen. So scheint z. B. die Leichtigkeit der Zersetzung der Säurechloride eine solche Ausnahme, indessen ist das Gesetz hier durch anderweitige Einflüsse nur verdeckt.

Nach dem Gesagten wird es klar, dass die bedeutende Atombewegung in der Aldehydgruppe noch gesteigert würde, wenn am benachbarten Glied der Kohlenstoffkette eine Amidgruppe sich befände. Die Stabilität würde soweit abnehmen, dass geringe Umstände schon die Verschiebung der Aldehydgruppe mit sich bringen würden im Sinne folgender Gleichung:



Nach der von mir entwickelten Eiweissbildungshypothese kommen nicht weniger als 12 so gelagerter Aldehydgruppen im activen Albumin<sup>2)</sup>, der Basis des lebenden Organismus vor; die grosse Labilität einerseits, die intensive Molecularbewegung andererseits wird hienach verständlich, aber trotzdem dürfte noch ein weiter Schritt von diesem Körper, dem wahrscheinlich nur fermentative Wirkungen zukommen, bis zum lebenden Protoplasma sein mit seinen so verschiedenen oft so staunenswerten Verrichtungen wie z. B. der Kohlensäurezersetzung im Chlorophyllkörper. Wenn wir uns nun vergegenwärtigen, dass das lebende Protoplasma aus

<sup>1)</sup> Es ergibt sich diese Gruppe direct aus der von mir aufgestellten Hypothese über die Bildung des Albumins aus Asparaginsäurealdehyd.

<sup>2)</sup> Bei Zugrundelegung der Lieberkühnschen Eiweissformel.



activem Albumin in äusserst complicirter Weise aufgebaut ist und dass bei diesem Bau die Aldehydgruppen des einen Moleculs wieder in die Nähe der Amidgruppen des nächsten kommen, so wird eine weitere bedeutende Steigerung der lebendigen Bewegung die Folge sein. Statt blosser Hydratationen und leicht vor sich gehender Spaltungen werden jetzt tief eingreifende Zersetzungen möglich, es werden die aus mehreren Körpern abgerissenen Complexe zu neuen stabileren Verbindungen vereinigt, und es können so Synthesen grossartige Spaltungen begleiten.<sup>1)</sup> Gleichzeitig aber wächst die Labilität der aus activem Albumin gebildeten ersten plasmatischen Gruppe bedeutend, ganz gering scheinende Einwirkungen bringen die angestrebte Molecular-Verschiebung zu Stande — jede Bewegung ist sistirt.

Bei jener Molecularverschiebung, welche eine innere Verbrennung ist, muss Wärme gebildet werden und es erklärt sich hiernach die »postmortale Temperaturerhöhung« auf einfache Weise. Andererseits muss Wärme aufgenommen werden, wenn das tote Nahrungseiweiss durch den Assimilationsprocess zum Protoplasma einer lebenden Zelle wird, also die Aldehydgruppen durch Rückverschiebung wieder hergestellt werden.<sup>2)</sup>

Bei jenen durch die Aneinanderlagerung der Molecule des aktiven Albumins so gesteigerten Molecularbewegungen des lebenden Plasmas ist die Sauerstoffaufnahme und Kohlensäurebildung — also die Atmung keine räthelhafte Sache mehr. Wissen wir ja, dass alle chemischen Wirkungen also auch Oxydationen durch Steigerung der Molecularbewegung befördert werden. Bei grösseren Schwingungsweiten gewisser Atome in einer Verbindung, werden sie eben leichter abgerissen. Aber auch die Oxydation von Fetten und Kohlenhydraten, wenn sie im lebenden Protoplasma eingebettet sind, ist leicht zu verstehen. Durch die heftigen Molecular-

---

<sup>1)</sup> Bei der Gärung, welche Nägeli zuerst richtig als Folge von Molecularschwingungen des Protoplasmas der Pilze erklärte, sehen wir einen besonders hohen Grad jener Wirkung.

<sup>2)</sup> Es ist im höchsten Grade interessant, dass Pflüger von ganz anderen Prämissen ausgehend, zum Schluss gelangte, dass »bei der Gewebsbildung eine Arbeit geleistet wird, durch welche die Cohäsion des Eiweissmoleculs ausserordentlich gelockert erscheint«.



stösse des sie umgebenden Mediums werden ihren Atomen ebenfalls grössere Schwingungsweiten mitgeteilt, also ein leicht zersetzlicher Zustand geschaffen, wobei dann die Aufnahme des gewöhnlichen molecularen Sauerstoffs bedeutend erleichtert wird.

Man kann das Protoplasma als eine Maschine von ausserordentlich kunstvollem Baue betrachten, bei welcher die Eiweissmolecule wie in einem complicirten Räderwerk ineinandergreifen und die Spannkraft der Aldehydgruppen den bewegenden Dampf vorstellt. Wie nun die Maschine auf zweierlei ganz verschiedene Weise zum Stillstand gebracht werden kann, nämlich 1. durch das Erlöschen des Feuers unter dem Dampfkessel und 2. durch den Bruch von Rädern und Axen, so können auch zweierlei Todesarten bei der Zelle möglich werden: bei der ersten, welche in der Verschiebung der Aldehydgruppen besteht, kann der ganze Bau der Maschinerie äusserlich erhalten bleiben. So lässt z. B. ein 10 Minuten langer Aufenthalt in einer einprocentigen Lösung von Citronensäure die Zellen der Alge *Spirogyra* in genau derselben schönen Structur, wie im Leben, so weit man mit den besten Mikroskopen diess zu beurteilen im Stande ist; jeder würde die Zelle als noch lebend erklären — und doch ist sie tot! sie hat aufgehört zu assimiliren, zu atmen, und die Aldehydgruppen sind mit Silberlösung nicht mehr nachweisbar.

Der zweite Fall aber, wobei die Aldehydgruppen noch erhalten sind, aber die Structur des Protoplasmas beträchtlich aus dem Geleise geraten ist, so dass weitere Lebensfunctionen unmöglich werden, ist eine seltene Ausnahme — er tritt ein bei der Wirkung von manchen Giften, besonders Alkaloiden. Wenn man z. B. *Spirogyren*-Zellen in einer Lösung von 1 Procent essigsauren Strychnins liegen lässt, so schrumpft allmählig der Plasmaschlauch ein, die Chlorophyllbänder verlieren ihre schöne Spirale, die Ordnung wird so gestört, dass an Ausübung der normalen Functionen nicht mehr zu denken ist und doch bleiben die Aldehydgruppen, wenigstens im nicht grünen Teile des Plasmas erhalten<sup>1)</sup>; ihre Verschiebung, die sonst schon bei geringfügigen Eingriffen, sogar schon durch mässigen mechanischen Druck auf die Zelle herbei-

---

<sup>1)</sup> Siehe Tafel, Fig. 6.



geführt wird und stets die Schrumpfung des Plasmaschlauchs begleitet — wird hier verhindert durch die Anlagerung des Strychnins. Die Silberreaction tritt aber nicht mehr ein, wenn man diese strychninhaltigen Zellen ganz kurze Zeit in verdünnte Säure taucht, und nach dem Abspülen in das Reagens legt.

Wir werden gut tun die Begriffe »Lebenskraft« und »Leben« streng zu sondern. Die Lebenskraft<sup>1)</sup> ist identisch mit der auf electrische Differenzen zurückführbaren Spannkraft der Aldehydgruppe, das Leben aber das Gesamteresultat, welches der complicirte Protoplasmabau mittelst dieser Kraft liefert.

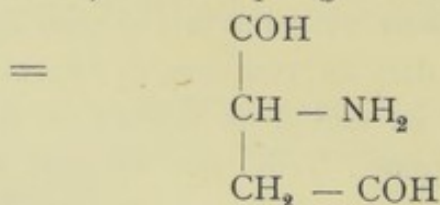
Bei Betrachtung dieser Unterscheidung wird es klar, dass nicht nur die Aufhebung jener Spannkraft, sondern auch schon die Störung des Zusammenhangs der Molecule des aktiven Albumins die Verrichtungen des Lebens unmöglich machen muss, selbst wenn in diesem Falle jene Spannkraft noch vorhanden wäre.

#### IV. Bemerkungen über die Constitution des Albumins.

Ich habe meine Theorie der Eiweissbildung oben nur soweit entwickelt, als nötig war, um das Vorhandensein von unveränderten Aldehydgruppen im aktiven Eiweiss darzutun und will an dieser Stelle weiter darauf hinweisen, dass sich dieselbe im vollen Einklange mit physiologischen und chemischen Tatsachen befindet und einen sehr einfachen Bau des Albuminmoleculs voraussetzt, obgleich die vielen möglichen Zersetzungen desselben im Pflanzen- und Tierkörper auf eine äusserst verwickelte Molecular-Structur zu deuten scheinen.

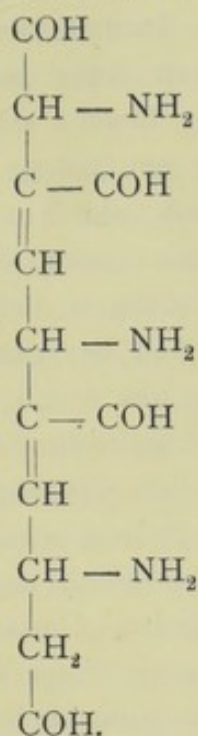
Um hier einen Ueberblick zu erringen, ist es nötig die Structurformel, wie sie sich aus den oben gegebenen Gleichungen entwickelt, mitzuteilen.

Aus dem Aldehyd der Asparaginsäure

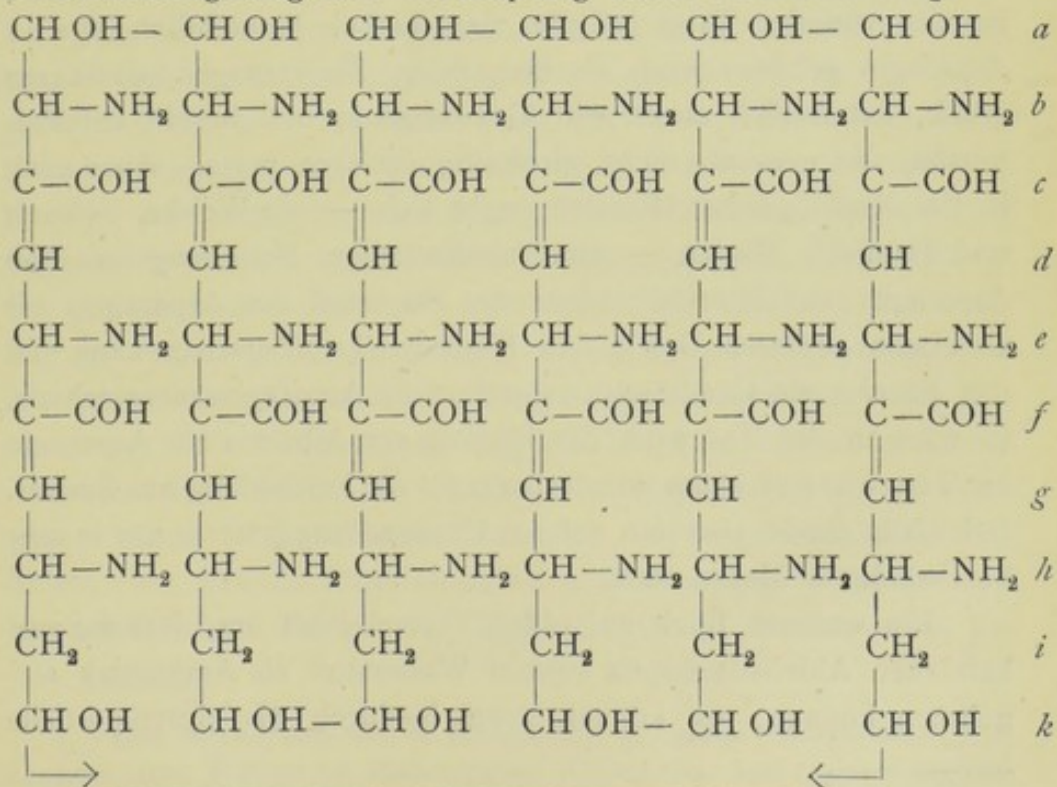


<sup>1)</sup> Obgleich sich an dieses Wort das Odium eines früheren ganz irrigen Begriffes haftet, dürfte es doch zur kurzen Bezeichnung der chemischen Grundursache der Lebenserscheinungen wohl verwendbar sein.

wird bei der Condensation nach Gleichung II:



Aus diesem Condensationsproduct entsteht durch sechsmalige Aneinanderlagerung und Verknüpfung durch Pinakonbildung:



Die Formel dieses Products = C<sub>72</sub> H<sub>114</sub> N<sub>18</sub> O<sub>24</sub> unterscheidet



sich noch von der Lieberkühn'schen Eiweissformel durch Mehrgehalt von 2H- und 2O-Atomen und Mangel eines S-Atoms. Ueber die völlig unbekannte Rolle des wahrscheinlich als HS—vorhandenen Schwefels im Eiweiss sei hier kein Wort verloren.

Wie den Benzolkern ein Ring, oder Sechseck so würde hier ein 6seitiges Prisma die Form des Albumincomplexes darstellen. Es wird auf den ersten Blick ersichtlich, dass die vorhandenen doppelten Bindungen und die zahlreichen Amid- und Aldehydgruppen die Festigkeit des ganzen Baues sehr beeinträchtigen müssen. Denken wir uns durch Sauerstoffaufnahme an den durch Pinakonbildung verbundenen Stellen die Bindungen aufgehoben, ferner die doppelten Bindungen durch Wasseraufnahme gesprengt (analog wie aus Phoron wieder Aceton wird), so bedarf es nur des Zutritts von Ammoniak und Sauerstoff um zum Asparagin zu gelangen. Schulze, Umlauf und Urich haben die überaus interessante Tatsache festgestellt, dass Asparagin das Hauptproduct bei dem Eiweissumsatz im Pflanzenleib bildet. Auch Pfeffer und Borodin haben die bedeutungsvolle Rolle des Asparagins bei der Eiweissbildung erkannt. Die Erklärung, welche Schulze von der Tatsache gibt, dass hiebei beträchtlich mehr Asparagin gebildet wird, als man durch Zersetzungen mit Säuren erhält, hat freilich etwas sehr Gezwungenes und beruht auf Prämissen, die man als nicht stichhaltig erklären muss. Aber auch in tierphysiologischer Hinsicht ergibt sich — wie Weiske, Schrodtt und Dangel<sup>1)</sup> fanden — eine merkwürdige Beziehung zwischen Asparagin und Eiweiss, indem der Stickstoff des Asparagins bis zu einem gewissen Grade den Eiweissstickstoff ersetzen kann. Ist das Eiweiss ein Condensationsproduct des Asparaginsäurealdehyds, so wäre in der Tat auch die Bildung von Albumin aus Asparagin im Tierkörper kaum wunderbarer als die Fettbildung aus Zucker. Jedenfalls fände aber ein solcher Umwandlungsprocess nur in sehr beschränktem Maasse statt.

Ein weiterer Blick auf obige Formel lehrt uns, dass die vorhandenen Aldehydgruppen sowohl Wasserstoff als Ammoniak aufnehmen können; es können sowol hiedurch als durch partielle

---

<sup>1)</sup> Maly's Jahresbericht f. physiolog Chemie 1879. p. 339.



Vertretung des Asparaginsäurecomplexes durch den Glutaminsäurecomplex die dem Eiweiss nahestehenden andern Proteinstoffe entstehen. (Vergl. Ritthausens Arbeiten über Conglutin, Legumin und Glutencasein).

Denken wir uns nun die Spaltung des Albuminprismas senkrecht zur Längsaxe vor sich gehend, so dass von dem Prisma einzelne Scheiben unter Veränderung der Bindungsverhältnisse abgelöst werden, so sehen wir aus der Reihe a und k Zucker entstehen; aus den an Stickstoff reichen Reihen b, e und h wird unter Molecularverschiebung und weiteren Spaltungen Harnsäure, Allantoin<sup>1)</sup>, Kreatin, Harnstoff; aus Reihe g oder d wird ein Benzolkern, aus i eine Fettsäuregruppe, welche durch Condensation aufs 3fache zur Stearinsäure führen kann.

Dass Kohlehydrate aus Eiweiss entstehen können, haben die Physiologen dargetan durch den Nachweiss der Bildung von Glycogen und Milchzucker im Tierkörper nach reiner Eiweissfütterung. Es hat ferner Schützenberger bei seinen schönen Untersuchungen über die Einwirkung von Aetzbaryt auf Eiweiss unter andern einen dextrinartigen Körper isoliren können.

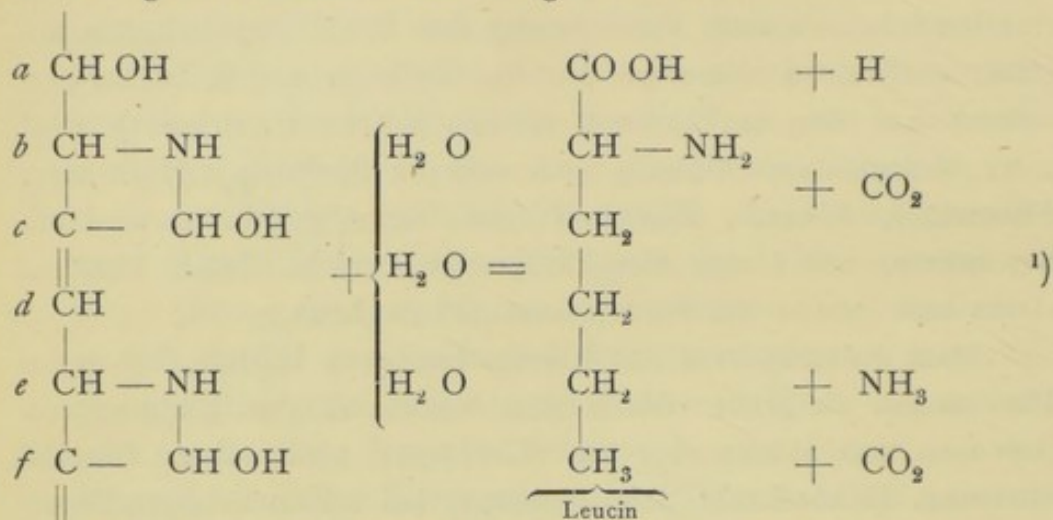
Was die höheren Fettsäuren betrifft, so ist deren Entstehung aus Eiweiss durch das physiologische Experiment z. B. durch vermehrten Fettgehalt der Milch nach reichlicher Eiweisskost, ebenfalls bewiesen worden. Ihre Bildung könnte zwar auch indirect, nämlich aus zuerst abgespaltenem Zucker erfolgen, doch würde diess kaum die oft bedeutenden Mengen erklären, die besonders bei pathologischen Processen auftreten. Pflüger hat bei Besprechung der intramolecularen Atmung bereits darauf hingewiesen, dass bei mangelnder Sauerstoffzufuhr eine Eiweisszersetzung unter Bildung von Fett, Kohlensäure und Ammoniak (letzteres mit einem Teile der Kohlensäure zu Harnstoff zusammentretend) vor sich gehen kann. Voit ebenfalls hat schon seit lange die Ansicht vertreten, dass Eiweiss unter Umständen als Hauptproducte Fett und Harnstoff liefern könne. Ein Blick auf den gleich folgenden Er-

---

<sup>1)</sup> Das vor Kurzem von E. Schulze und J. Barbieri nachgewissene Vorkommen dieses Körpers bei Phanerogamen (Chem. Ges. Ber. 13. p. 1602) muss sicherlich aussergewöhnliches Interesse erregen.

klärungsversuch der Leucinbildung lässt erkennen, wie einfach sich auch die Umwandlung von Eiweiss in Fett gestalten könnte.

Die Entstehung von Amidosäuren der Fettreihe kann durch Wasseraufnahme bei Spaltung des Cylinders parallel zur Längsaxe erklärt werden; hiebei könnte z. B. aus der Kette von a bis f nach folgendem Schema Leucin gebildet werden:



Bei diesem Process muss Ammoniak und Kohlensäure abgespalten werden. — Das Auftreten dieser Körper aber berechtigt noch keineswegs zum Schluss, dass die Porteinstoffe complexe Ureide seien, da sie aus verschiedenen Gliedern der Kette stammen können.

Nach meiner Theorie präexistirt also weder das Leucin, noch irgend eine Fettsäuregruppe im Eiweiss — aber auch nicht der Benzolkern. Wir besitzen in der Ueberosmiumsäure ein ausgezeichnetes Mittel, Fettsäurecomplexe zu erkennen. Von Propionsäure an aufwärts scheiden alle Fettsäuren, von Aethylalkohol an alle Alkohole und zugehörigen Gränzkohlenwasserstoffe und die Homologen des Aethans aus Ueberosmiumsäure das Metall als schwarzen Niederschlag ab. — Leucin tut dieses mit Leichtigkeit,

<sup>1)</sup> Das oben angedeuteten Atom H wird nicht frei, sondern von Nachbargruppen verwendet. — Durch eine Sprengung der Kette bei (c) kann Propalanin, bei (d) Butalanin, Körper, welche Schützenberger ebenfalls unter den Spaltungsproducten des Albumins auffand, resultiren. — Der Leucinbildungsprocess bei Einwirkung von Schwefelsäure geht jedenfalls nur in 3 von den 6 Ketten vor sich, da das Eiweiss (1 Mol.) hiebei höchstens 24% (3 Mol.) Leucin liefert. —



dagegen kann man lange Zeit Pepton oder Albumin (von Fett und Lecithin befreites) mit 1 procentiger Ueberosmiumsäurelösung erwärmen ohne dass eine Spur von schwarzem Niederschlag von Osmium entstünde.

Dass der Benzolkern nicht im Eiweiss präformirt enthalten ist, dürfte aus der Beobachtung Brücke's<sup>1)</sup> hervorgehen, dass durch Oxydation von Eiweiss mittelst Permanganat bei gewöhnlicher Temperatur ein Körper von der Natur einer Säure erhalten wird, in dem der aromatische Complex nicht mehr durch Millons Reaction nachgewiesen werden kann. Wäre der Benzolkern fertig gebildet vorhanden gewesen, so wäre er bei jener durchaus nicht weit getriebenen Oxydation gewiss noch nicht verschwunden. Ich selbst habe früher wegen der leichten Nitrirbarkeit des Albumins die Präexistenz des Benzolkernes annehmen zu müssen geglaubt, sehe die Sache aber jetzt in etwas anderem Lichte. (Man erinnere sich an die leichte Nitrirbarkeit der Barbitursäure.)

Bei einem Blick auf obige Structurformel sehen wir, dass im activen Albumin sämmtlicher Stickstoff als Amid vorhanden ist, und bei Verschiebung mit den vorhandenen 12 Aldehydgruppen  $\frac{2}{3}$  der Amidgruppen<sup>2)</sup> in Imid übergehen, so dass im gewöhnlichen, passiven Eiweiss der Stickstoff in zwei verschiedenen Gruppen vorhanden ist, also, die Lieberkühn'sche Formel zu Grunde gelegt, in 6 Moleculen  $\text{NH}_2$  und 12 Moleculen  $\text{NH}$ . In der salpetrigen Säure schien ein Mittel gegeben, diese Ansicht zu prüfen. Leitet man diese in eine Lösung von Pepton (Eiweiss ist wegen sofortiger Coagulation nicht verwendbar) ein, so färbt die Lösung sich gelb, entwickelt Stickstoff und scheidet allmählig ein gelbes Pulver ab, das äusserst stickstoffreich ist und beim Erhitzen einen intensiven Geruch nach verbranntem Horn und Ammoniak verbreitet, sich leicht in Alkalien und schwer in Wasser und Weingeist löst. Aber auch im Filtrat von diesem gelben Niederschlag ist noch sehr N-reiche Materie enthalten, wie nach Neutralisation mit Barytwasser und Auskrystallisirenlassen des Baryumnitrats aus

<sup>1)</sup> Monatshefte für Chemie 1. Berichte der D. Chem. Ges. 13.

<sup>2)</sup> Nach Danilewsky besteht noch ein Unterschied in der Zahl »offener Amidgruppen« zwischen Myosin und Syntonin. Zeitschrift für physiologische Chem. V. p. 186.



der eingedampften Flüssigkeit leicht erkannt werden kann. Auch bei sehr lange fortgesetztem Einleiten der salpetrigen Säure kann ein grosser Teil des Stickstoffs nicht aus dem Pepton entfernt werden.<sup>1)</sup> Die quantitative Bestimmung des durch salpetrige Säure entwickelbaren Stickstoffs — der Anzal der Amidogruppen — ist mir bis jetzt nicht zur Zufriedenheit gelungen; indess lehren die angestellten Versuche deutlich, dass nur ein Teil des Stickstoffs in Form von Amidogruppen vorhanden ist. Die Imidgruppen würden wahrscheinlich bei dem Process in Nitrosoimidogruppen übergehen und aus diesen durch Reduction Hydrazingruppen entstehen. Der oben erwähnte gelbe Körper wird in der Tat mit Zinkstaub und Essigsäure farblos, doch hat der hiebei gebildete Körper keine silberreducirende Eigenschaften<sup>2)</sup>.

Ueberblicken wir nochmals den Process der Eiweissbildung, so wird man zugestehen müssen, dass derselbe fast so einfach erscheint wie der der Zuckerbildung. Die Annahme, dass das Eiweiss nicht durch einen so einfachen Condensationsprocess entstünde, sondern durch Zusammentreten zweier oder mehr vorher gebildeter complicirter Körper, widerstrebt schon dem physiologischen Instinct und würde fast heissen der einfachsten Zelle Verstandesoperationen zutrauen. — Wie das Methylenoxyd bei seiner leichten Umwandlung in die zweiwertige Gruppe  $\text{CH OH}$ , nach Baeyer und Kekulé, durch Condensation höchst wahrscheinlich den Zucker<sup>3)</sup> liefert, so erscheint es also auch nach meiner Eiweissbildungstheorie als Muttersubstanz des Albumins. Aber auch die Grundlage der Glycerin- und Fettsäurebildung kann jene so einfach constituirte Gruppe werden, wenn bei den Condensationen zugleich reducirende Processe eingreifen und es ist sicherlich kein Zufall, dass die niederste Anzal der Kohlenstoffatome, welche im Eiweiss-

---

<sup>1)</sup> Bei früheren Versuchen, bei denen ich die Reaction durch gelinde Wärme unterstützte, ging allerdings weitere Zersetzung vor sich. Allein man kann hier den oxydirenden Anteil der stets sich bildenden Salpetersäure nicht gut beurtheilen.

<sup>2)</sup> E. Fischer gibt an, dass auch manche Hydrazine hierin eine Ausnahme machen.

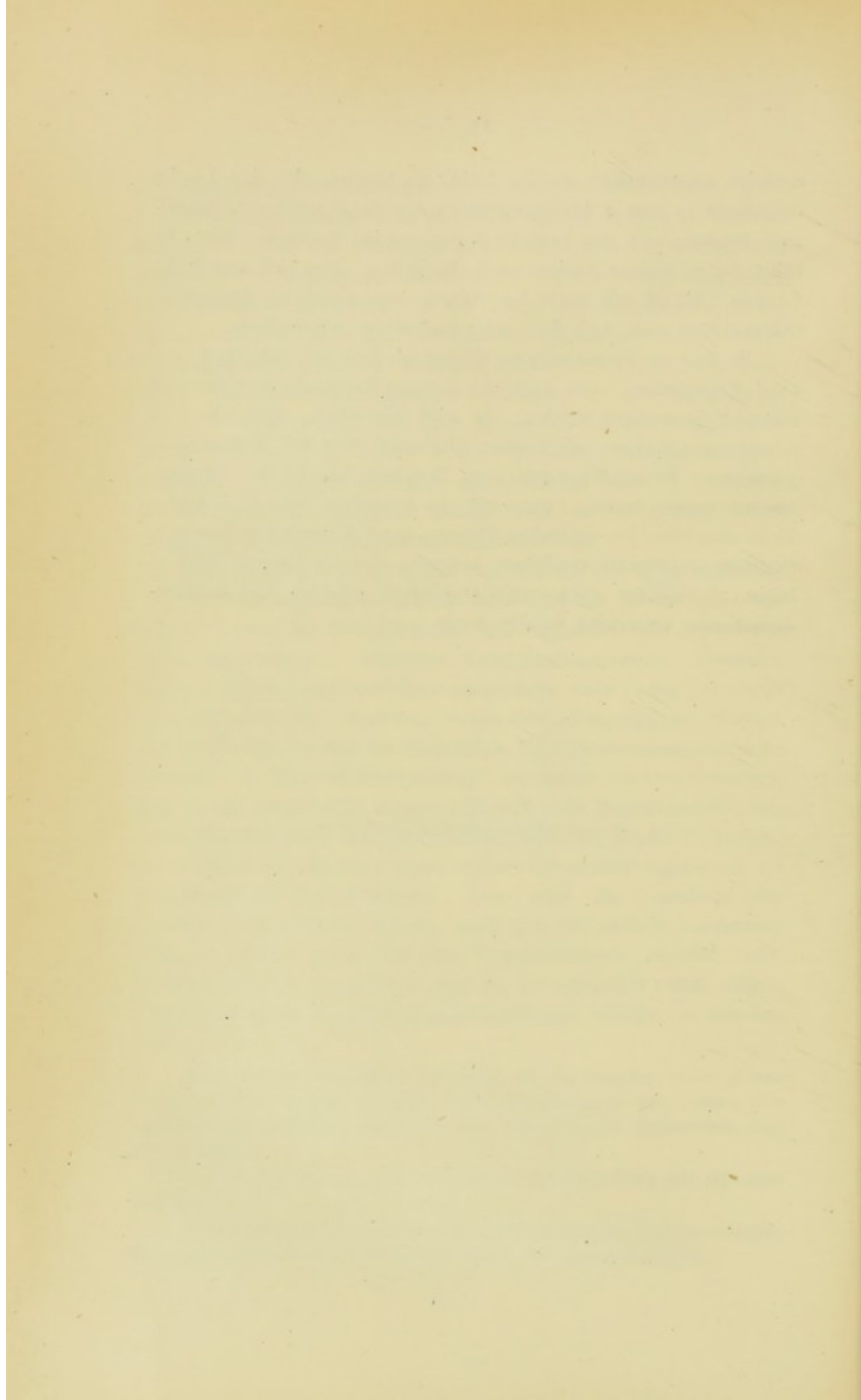
<sup>3)</sup> Sehr interessant ist die Rénard gelungene Rückverwandlung von Glycose, Glycerin und Mannit in Trioxymethylen durch den electrischen Strom.



complex angenommen werden kann, 72 beträgt, also das 4 fache derjenigen in den 2 Hauptrepräsentanten der Fettsäuren: Stearin- und Oelsäure und das 12 fache derjenigen im Traubenzucker. Es rührt dieses meiner Ansicht nach davon her, dass sich sowol die Gruppe  $\text{CHOH}$  als auch das daraus hervorgehende Asparaginsäurealdehyd stets aufs drei- oder sechsfache condensiren.

So können die wichtigsten Körper der Zelle aus dem Methylenoxyd hervorgehen, aber auch die fertigen Endproducte wieder in einander verwandelt werden. Es wird begreiflich, dass die verschiedensten Körper, wie Zucker, Gerbstoff, Fett bei Anwesenheit genügender Stickstoffmengen, zum Eiweissaufbau in den Pflanzen benützt werden können, wenn wir uns vorstellen, dass die heftigen Molecularstösse im lebenden Plasma unter Umständen trennen, oxydiren und wieder vereinigen können; dass die Gruppe  $\text{CH OH}$  leicht abgespalten oder durch Oxydation gebildet und zu Condensationen verwendet werden kann.







# EXPERIMENTELLER THEIL.

---

THE RIVERMOUTH



## I. Einleitung.

Wenn es sich um die Feststellung des chemischen Verhaltens des lebenden Protoplasmas handelt, hat man im Vorhinein hauptsächlich mit zweierlei Schwierigkeiten zu kämpfen, von denen die eine in der grossen aber doch, wie es scheint, bisher überschätzten Sensibilität des lebenden Plasmas gegen Reagentien, welche eine Veränderung desselben unter der Hand des Experimentators befürchten lässt, die andere in der Verborgenheit liegt, welche das meist in mikroskopisch kleine Gehäuse eingeschlossene Protoplasma der direkten Beobachtung entzieht. Dass die Beseitigung der zuerst genannten Schwierigkeit (wenigstens für bestimmte Objekte) durch Anwendung ausserordentlich verdünnter Reagentien gelang, ist bereits im ersten Teil erwähnt worden; aber auch die Hebung der zweiten Schwierigkeit liess nicht lange auf sich warten. Einige vorläufige Versuche und Erwägungen führten uns rasch auf den richtigen Weg und leiteten uns auf Objecte hin, die der Beobachtung keine besonderen Schwierigkeiten in den Weg setzten und welche vorgegangene Veränderungen in ausgezeichneter Weise zum sichtbaren Ausdruck kommen liessen. Dass zum eingehenden Studium der von uns auszubildenden chemischen Reaction Zellen gewählt werden mussten, die ohne weitere Präparation studirt werden konnten, nicht etwa solche, welche complicirten Gewebekörpern angehörten, war von vorneherein klar. Wir wurden darauf auch schon durch die Versuche von Strasburger, Schultze und Kühne über Protoplasma hingewiesen, die ihre höchst interessanten Experimente über das Verhalten des lebenden Protoplasmas gegen Electricität, Wärme etc. an Staubfadenhaaren von *Tradescantia*



und niedrigen einzelligen tierischen Organismen, Amoeben, anstellten und in der Beschleunigung, Verlangsamung oder Einstellung der Bewegungserscheinungen dieser plasmatischen Substanzen einen guten Indicator für die Wirkung ihrer angewandten Mittel fanden. Wenn wir unsere Studien gleichwol nicht an den von den genannten Autoren gewählten Objecten machten, so geschah diess bezüglich der Pflanzenzellen aus dem Grunde, weil die ausgezeichneten morphologischen Verhältnisse gewisser anderer vegetabilischer Objecte uns noch mehr geeignet erschienen im Innern des Plasmas vorgehende Veränderungen äusserlich in Erscheinung treten zu lassen, bezüglich der tierischen Objecte desshalb, weil sie zu empfindlich, auch gegen sehr verdünnte Reagentien, sich erwiesen.

Spirogyren, bei uns ganz gemein vorkommende Algen, schienen all diesen Anforderungen am besten zu entsprechen, indem sie einerseits gegen chemische Einwirkungen erhebliche Widerstandsfähigkeit zeigten, andererseits, da sie aus einfachen Zellreihen bestehen, die mikroskopische Beobachtung sehr erleichterten und endlich durch Veränderungen ihrer ausgezeichneten äusseren Structur, Verschiebung oder Quellung ihrer Chlorophyllbänder, Veränderung in der Lage der zu zierlichen Gruppen angeordneten Stärkekörner, stellenweise Ablösung des Plasmaschlauches etc., erlittene innere Störungen in deutlichster Weise nach aussen erkennen liessen. In wieferne das letztere Moment für unsere Betrachtungen von besonderem Wert gewesen ist, wird aus den folgenden Beschreibungen, in denen fast regelmässig neben der chemischen Wirkung der angewandten Reagentien die gleichzeitigen Gestaltsveränderungen, welche das Plasma erlitten hatte, berücksichtigt wurden, hinlänglich hervorgehen.

Als weitere Punkte, welche bei der Auswahl der Objekte berücksichtigt werden mussten, erschienen uns einerseits die leichte Permeabilität der Zellmembran für die angewandten Lösungen, andererseits die möglichste Farblosigkeit der betreffenden Zellen, so dass eine etwa eintretende Farbenreaction nicht durch vorhandene Farben verdeckt oder beeinträchtigt werden konnte, lauter Bedingungen, denen die Spirogyren in bester Weise entsprachen.

Tatsächlich erwiesen sich diese durch theoretische Erwägungen



und praktische Versuche gefundenen Objekte während der ganzen von uns angestellten Versuchsreihe, die häufig, um die gefundenen Tatsachen zu verallgemeinern, auch auf andere pflanzliche Objekte ausgedehnt wurde, immer als die weitaus brauchbarsten, und es war daher für die möglichst rasche und bequeme Durchführung unserer Versuche von grosser Wichtigkeit, Spirogyren zu jeder Zeit in möglichst gutem Zustande zur Hand zu haben, was nur durch sorgfältige Züchtung der genannten Pflanzen erreicht werden konnte. Da die Züchtung der Spirogyren bis jetzt noch wenig versucht und unvollkommen erreicht worden zu sein scheint, halten wir es für angezeigt, in Folgendem kurz die von uns angewandte Methode zu beschreiben.

Man bringt eine geringe Menge der Fäden (höchstens 1 gr. der Trockensubstanz entsprechend) in etwa 10 Liter kalkhaltigen Brunnenwassers, fügt 0,1 p.m. salpetersaures Ammoniak und ebensoviel Dikaliumphosphat<sup>1)</sup> hinzu und führt vorsichtig täglich eine kleine Quantität Kohlensäure ein. Da man bei Anwendung eines Kohlensäure-Apparates nur allzu leicht einen schädlichen Ueberschuss des Gases zuführt, welcher erstickend auf die Zellen wirkt, so ist es eher zu empfehlen, den Atem, dessen Kohlensäuregehalt vollständig ausreicht, mittels einer Glasröhre mehrmals des Tages einige Secunden lang durch die Flüssigkeit zu blasen. Lässt man direktes Sonnenlicht auf die Flasche fallen, so verhindert man sorgfältig eine Temperaturerhöhung über 20°. Ferner

---

<sup>1)</sup> Es wurden auch Vergleiche angestellt bezüglich der Wirkung von Kalium und Rubidium. 1 Liter aq. dest. wurde mit 20 cc. Kalkwasser, das mit Kohlensäure übersättigt wurde, und dann mit 0,1 p. m. Chlorkalium 0,05 p. m. Mg SO<sub>4</sub> und 0,1 p. m. phosphorsaurem Ammoniak versetzt. Eine 2. Flasche erhielt dieselben Mengen mit dem Unterschied, dass Kalium durch Rubidium ersetzt war. Die eingesetzten Spirogyren gingen in beiden Lösungen bald zu Grunde, wahrscheinlich weil die Kalkmenge zu gering war. Dagegen entwickelten sich einzellige Algen (Palmellaceen) bald in grosser Menge in beiden Flaschen. Nach 2 Monaten war in der K.-haltigen Lösung gebildet: 0,057 g, bei der Rubidium haltigen: 0,054 g. Trockensubstanz. Während in der Rubidiumflasche die Hauptmasse der Zellen abgestorben war, schienen in der Kaliumflasche die meisten noch lebend zu sein. Rubidium dürfte also bei diesen Pflanzen kaum das Kalium ersetzen können.



erneuere man die Nährflüssigkeit alle 10—12 Tage, wobei man die Algen auf einem Seietuch sammelt.

## II. Ueber die chemischen Bestandteile der Algen.

Es schien uns bei der Natur unserer Untersuchung geboten, eine grössere Anzahl verschiedener Species und Gattungen von Algen in Bezug auf ihre chemische Zusammensetzung zu vergleichen. Hierbei ergaben sich grössere Unterschiede, als wir vermutet hatten. Der Aschengehalt variierte ungemein und zwar desshalb, weil häufig den Membranen beträchtliche Mengen kohlensauren Kalks anhafteten, die nicht leicht zu entfernen waren, ohne den Algen zugleich andere Stoffe zu entziehen. Der Bedarf an Mineralstoffen für die Funktionen des Protoplasmas der Algen scheint indessen nur gering zu sein, da eine Reinkultur von Zygnemenfäden, denen kein kohlensaurer Kalk mechanisch anhaftete, nur 0,09% der Trockensubstanz an Asche lieferte. Der Wassergehalt der oberflächlich zwischen Fliesspapier abgetrockneten Algen wechselt von 85—90%. Der Fettgehalt wurde bei den Spirogyren von 6—9% der Trockensubstanz wechselnd gefunden; bei einer Zygnema betrug er 6,1%.<sup>1)</sup> Während bei *Sphäroplea annulina* Ag. die Fettmenge<sup>2)</sup> geradezu minimal war, stieg sie bei einer am Grunde eines rasch fliessenden Baches gewachsenen *Vaucheria* bis auf 14,9% der Trockensubstanz.

Zucker ist in der Regel in den Wasseralgen nur in sehr geringen Mengen oder gar nicht vorhanden und scheint nur unter pathologischen Verhältnissen in grösserer Menge aufzutreten. Nur bei *Spirogyra decimina* wurde auch normal eine grössere Menge Zucker gefunden. Stärkmehl wird überall in den Chlorophyll-

---

<sup>1)</sup> Die Eiweissmenge betrug bei dieser *Zygnema* (*cruciatum*) 28,0% der Trockensubstanz.

<sup>2)</sup> Unter dem allgemeinen Ausdruck »Fett« ist hier das von uns in den Algen nachgewiesene Lecithin mit inbegriffen, ja kann in manchen Fällen ausschliesslich aus letzterem bestehen. Cholesterin scheint im Algenfett nur in leisen Spuren vorhanden zu sein, ja häufig ganz zu fehlen, während in Schimmelpilzen dasselbe fast stets vorhanden ist.



körpern angetroffen, Pflanzenschleim liefert besonders *Zygnema cruciatum* in grösseren Mengen.

Was Gerbstoffe betrifft, so enthalten sämtliche von uns untersuchten *Spirogyren* eisenbläuenden Gerbstoff, und zwar in sehr wechselnden Mengen. *Spirogyra condensata* Ktz. wies hohen Gehalt, *Sp. communis* Ktz. geringen auf, *Sp. Weberi* Ktz. liess den Gerbstoff vorwiegend an den Enden der Zellen (bei den Zellstoffalten), *Sp. nitida* Ktz. fast nur in den Chlorophyllbändern in kleiner Menge erkennen.

Reich daran ist *Zygnema cruciatum* Ag., welche ausser eisenbläuenden Gerbstoff noch drei andere und zwar dem Morin und der Moringersäure nahestehende Gerbstoffe enthält, von denen einer gelbe, in Alkohol und heissem Wasser leicht lösliche Nadeln <sup>1)</sup> bildet, welche mit einer Mischung von Anilinnitrat und Kaliumnitrit einen braunroten, mit Bleizucker einen roten, mit Brechweinstein einen roten, mit Eisenchlorid einen schwarzen auf Zusatz von nur wenig Salzsäure die Farbe nicht ändernden, mit Leim einen weissen Niederschlag geben. Mit Salzsäure gekocht entsteht keine huminartige Substanz (Unterschied von Maclurin), ferner mit verdünnter Schwefelsäure und Zink gekocht keine rote Färbung. Silbernitrat gibt einen gelben, beim Kochen langsam Metall abscheidenden Niederschlag. — Die andern beiden gerbstoffartigen Körper sind nicht krystallisirt zu erhalten, geben ähnliche Reactionen wie die eben erwähnten Nadeln und ist der eine davon im Alkohol leicht, der andere darin nicht löslich.

Bei manchen Algen lässt sich keine Spur eines gerbstoffartigen Körpers nachweisen z. B. bei *Sphäroplea annulina* Ag.; ebensowenig enthielt ein *Oedogonium* und eine *Cladophora* Spuren davon. Die beiden letzteren stimmten auch in ihrem geringen Fettgehalt mit der *Sphäroplea* nahe überein. Aeusserst geringe Mengen Gerbstoff enthielt ferner eine *Vaucheria*. Bemerkenswert ist, dass mit länger andauernder Züchtung (vermehrte N-Zufuhr) der Gerbstoffgehalt der *Spirogyren* langsam abnahm.

---

<sup>1)</sup> Aus einer etwa 150 g Trockensubstanz entsprechenden Menge *Zygnemen*-fäden wurde durch Ausziehen mit Alkohol und längeres Stehenlassen der eingegengten und filtrirten Flüssigkeit 0,4 g davon erhalten.



Für den mikrochemischen Nachweis des Gerbstoffs bei den Algen können wir als bestes Mittel Eisenvitriol empfehlen. Mit Eisenchlorid, selbst wenn sehr verdünnt, verlieren die Zellen so rasch ihre äussere Form, und findet so bedeutende Contraction statt, dass die Gerbstoffverteilung in der Zelle durchaus nicht mehr erkennbar ist; auch verliert sich die Blaufärbung äusserst rasch durch die saure Reaction. Nimmt man aber basisches Eisenchlorid oder essigsaures Eisenoxyd, so dringen diese wegen ihrer äusserst geringen osmotischen Fähigkeit kaum durch die Zellhaut. Beim Eisenvitriol finden wir die beiden Uebelstände nicht vor, doch hat derselbe bekanntlich die Eigenschaft, erst bei länger andauerndem Luftzutritt mit Gerbstoff eine Bläuung<sup>1)</sup> zu geben. Dieser Nachteil wird aber durch den grossen Vorteil aufgehoben, dass die Zellstructur schön erhalten bleibt und die Gerbstoffverteilung in der Zelle sehr gut beurteilt werden kann. Lässt man Spirogyrenfäden mit einer nicht zu hohen Schichte einer 1—2%igen Eisenvitriollösung bei Zutritt von Luft in einem lose bedeckten Kolben einen Tag (bei dickeren Zellmembranen auch 2 Tage) stehen, so bemerkt man nachher eine sehr schöne Reaction: bald ist die Blaufärbung intensiver an den Enden der Zellen, bald mehr im Chlorophyllband, bald wieder im übrigen Plasma intensiver als in diesem.

Es ist nun bei dieser Eisenvitriolreaction bemerkenswert, dass dieselbe nicht mehr eintritt, wenn der Gerbstoff bereits mit dem Eiweiss der Zelle sich verbunden hat, dass aber dieselbe sofort wieder hervorgerufen werden kann, wenn man die Zellen  $\frac{1}{4}$  oder  $\frac{1}{2}$  Stunde in 0,1-procentiger Kalilösung liegen lässt. Hat man z. B. Spirogyren-Zellen durch 10 Minuten langes Liegenlassen in 1-procentiger Citronensäure getötet, so wird man nachher mit Eisenvitriollösung keine Reaction mehr erhalten; nach kurzem Liegen in sehr verdünntem Kali und Abwaschen der Fäden liefern sie aber wieder die Reaction und zwar in derselben Intensität wie vorher. Dieses Verhalten zwingt uns zur Annahme, dass der Gerbstoff auch in den lebenden Spirogyren nicht als solcher,

---

<sup>1)</sup> Diese Bläuung wird bei einem solchen Gemisch bedeutend durch Zusatz von etwas Aethyl-Aldehyd befördert.



sondern in einer Verbindung mit einer Base vorhanden ist — wahrscheinlich mit Kalk. Die unten beschriebene Giftwirkung der freien Gerbsäure steht hiemit auch im Einklang.

Ein äusserst feines Reagens auf Gerbstoff finden wir auch in derselben verdünnten alkalischen Silberlösung, die wir als Reagens auf Aldehydgruppen im lebenden Plasma benützen (die unten erwähnte Lösung A). Diese gibt nämlich schon mit äusserst geringen Mengen Gerbstoff eine gelbe bis braune Färbung; doch nicht nur mit Gerbstoff allein, sondern auch mit Glycose. Die Ursache dieser Färbung kann auf nichts anderes als auf Silberoxydulbildung zurückgeführt werden; denn Alkali allein von derselben Verdünnung wie es in jener Lösung vorhanden ist, gibt mit Glycose gar keine, mit denselben Mengen Gerbstoff aber eine in den Zellen kaum sichtbare, verschwindende Gelbfärbung. Bei Abwesenheit von Glycose gibt also jenes Reagens ein sehr gutes Erkennungsmittel für Gerbstoff<sup>1)</sup> ab.

Da Zucker sich hauptsächlich im Zellsaft, Gerbstoff aber nur im Plasma der Algen vorfindet, so kann man aus der Lokalisierung der Gelbfärbung schon gewisse Schlüsse ziehen. Tritt sie z. B. in dem zwischen den contrahirten Plasmaschlauch und der Zellwand übergetretenen Zellsaft auf, so kann mit Sicherheit auf Glycose<sup>2)</sup>, erscheint sie z. B. nur in den Chlorophyllbändern, auf Gerbstoff geschlossen werden. Eine Verwechslung mit einer minimalen Ausscheidung metallischen Silbers, welches in sehr dünnen Schichten das Licht gelbrot bis violett durchlässt, kann nicht leicht vorkommen, denn in letzterem Falle ist die Farben-Nuance nie gleichmässig, abgesehen von dem ganz andern Habitus der Reaction.

Gummi und Stärkmehl geben diese Gelbfärbung nicht, Rohr-

---

<sup>1)</sup> Es mag hier darauf hingewiesen werden, dass manche mit Gerbstoff ganz erfüllte Zellen wie z. B. bei der Eichenrinde sich mit dem Reagens sogar dunkelbraun färben können.

<sup>2)</sup> Ueber eine allgemeine Anwendbarkeit dieser Reaction haben wir keine weiteren Versuche angestellt; doch dürfte zu berücksichtigen sein, dass die Reaction wenigstens mehrere Stunden in Anspruch nimmt, also die Osmose aus den Zellen nur eine geringe sein darf.



zucker nur äusserst schwach und bei viel länger dauernder Einwirkung als bei Glycoce. Bei Reaction auf letztere lässt man die Algen 6—8 Stunden lang in einem grossen Ueberschusse des Reagens (bei Lichtabschluss) liegen. Schnitte der an Glycoce reichen Aepfel und Kirschen wurden in ähnlicher Weise wie die Algen mit dem Reagens behandelt und auch hier wurde die intensive Gelbfärbung, aber nie Silberabscheidung, beobachtet. Auch das wässrige Decoct mancher Algen gibt diese Gelbfärbung.

Bezüglich des mikrochemischen Nachweises von Fett bedienten wir uns der seit lange mit Erfolg benützten Ueberosmiumsäurelösung von  $\frac{1}{10}$  bis 1% Gehalt, welche wir 12 Stunden und länger auf die Objekte einwirken liessen.<sup>1)</sup> Manche Spirogyrenfäden färbten sich damit so intensiv schwarz, dass die Chlorophyllbänder nicht mehr erkennbar waren. In den Zellen aber, in denen die Reaction nicht so intensiv auftrat, bemerkte man fast stets in den Chlorophyllbändern eine tiefere Schwärzung als im übrigen Teile des Plasmas, was einen höheren Fett- oder Lecithin-gehalt ausser allen Zweifel setzt.

Es mag hier im Anschluss erwähnt werden, dass einprocentige neutrale Palladiumnitratlösung eine der Osmiumreaction entsprechende, aber viel schwächere Reaction gibt, dass ferner Reactionen mit einprocentigen neutralen Lösungen von Goldchlorid und Silbernitrat wol nur durch Gerbstoff verursacht werden.

### III. Die Reactionen der lebenden Zellen auf alkalische Lösungen von Platin, Quecksilber Gold und Silber.

Wir haben, wie schon früher erwähnt, weder bei alkalischen Palladium- noch Osmium Lösungen<sup>2)</sup> eine Metallabscheidung mit lebenden Zellen constatiren können, obgleich wir die Concentration und Wirkungsdauer mancfach abänderten. Das Plasma contrahirte sich, die Zellen starben ab, ohne eine Spur

<sup>1)</sup> Wir müssen hiebei hervorheben, dass Lecithin sehr viel intensiver und energischer mit Ueberosmiumsäure reagirt, als die freien Fettsäuren.

<sup>2)</sup> Es ist fast überflüssig zu bemerken, dass alkalische Blei-, Kupfer- und Wismutlösungen (letztere mit Tartrat hergestellt) keine Spur von Reaction gaben.



Metallabscheidung erkennen zu lassen. Mit alkalischer Platinlösung<sup>1)</sup> wurde dagegen eine wenn auch schwache Reduction beobachtet; wenige offenbar resistenterere Zellen zeigten an einzelnen Stellen, in der Regel an den Enden der Plasmaschläuche eine Schwärzung. Die Quecksilberreduction war schon bedeutender, doch noch weit hinter der Gold- und Silberreaction zurückstehend. Die alkalische Quecksilberlösung wurde auf folgende Weise hergestellt: 1 g. Aetzsublimat wurde mit concentrirter Jodkaliumlösung bis zur Wiederlösung des gebildeten Jodids, dann mit 5 g. Kalihydrat versetzt und die Mischung bis 1000 cc. verdünnt. Während bei der doppelten Verdünnung dieser Lösung keine Reaction mehr beobachtet werden kann, findet eine solche wol bei der erwähnten Concentration statt. Da aber wegen des hier vorhandenen relativ hohen Salz- und Alkaligehaltes das Leben der Zelle sehr bald erlischt, so können nur wenige, resistentere Zellen und die nur im ersten Stadium des Contacts reagiren. Man bemerkt dann in solchen ein metallisches Grau von ausgeschiedenem Quecksilber. Tote Zellen geben diese Reaction nicht.

Was die alkalische Goldlösung betrifft, so ist hier eine sehr bedeutende Verdünnung wegen der schon früher erwähnten leichten Reducirbarkeit des Goldes nötig. Glycose und Gerbstoff wirken noch bei bedeutenden Verdünnungen der Goldlösung reducirend, bei denen weder Cellulose, Stärke, noch Eiweiss bei Lichtabschluss eine Wirkung haben.

Sphäroplea annulina z. B., die beim geringsten Contact mit irgend einer Metallsalzlösung sofort abstirbt, schlägt selbst nach 24 Stunden aus einer  $\frac{1}{15000}$  Au enthaltenden, mit Kalkwasser versetzten Goldlösung keine Spur Gold nieder — offenbar nur weil sie ganz frei von Gerbstoff und Glycose ist. Da andre Algen (Spirogyren) aus denselben Lösungen aber manchmal Gold in ihrer Membran ablagern, so wird man hieraus auf Einwanderung eines gerbstoffartigen Körpers schliessen dürfen. Wenn man aber 1 Tl.  $\text{AuCl}_3$  auf 50000 Tl. aq. nimmt und zu 1 Liter dieser Flüssigkeit circa 20 cc. Kalkwasser setzt, so reagiren in

<sup>1)</sup> Diese enthielt 5000 Tl. aq. auf 1 Tl.  $\text{PtCl}_4$  und die zur Bildung von Platinoxidnatron berechnete Menge Natron.



6—8 Stunden nur lebende Zellen (der Spirogyren) mit ihrem Plasma, welches dann schwach blau oder violett erscheint. (Ueberall ist hier Lichtabschluss vorausgesetzt, da das Licht speciell die Goldabscheidung durch verschiedene organische Substanzen un-  
gemein befördert).

Was nun die alkalischen Silberlösungen betrifft, deren Wirkungen im Folgenden ausführlich beschrieben sind, da diese Reaction die wichtigste für die Erklärung der lebendigen Bewegung im Protoplasma ist, so benutzten wir hauptsächlich folgende 2 Lösungen:

L ö s u n g A ist eine mit Kali versetzte ammoniakalische Silberlösung, welche am besten hergestellt wird, indem man 1) 13 cc. Kalilösung von 1,333 spec. Gewicht mit 10 cc. Ammoniakliquor von 0,960 spec. G. mischt und auf 100 cc. verdünnt; und 2) eine Lösung von 1% Silbernitrat vorrätig hält. Von beiden Lösungen mischt man vor dem Gebrauch je 1 cc. und verdünnt diese Mischung auf 1 Liter<sup>1)</sup>.

L ö s u n g B ist eine wässrige Lösung von Silberoxyd und wird bereitet, indem man auf 1 Liter einer Lösung von  $\frac{1}{100000}$  Ag NO<sub>3</sub> 5 cc. Kalkwasser setzt. Kohlensäurehaltige Luft ist hier während der Reaction sorgfältig abzuhalten.

Da diese Lösungen nur 1 Tl. NO<sub>3</sub>Ag auf 100000 Teile aq enthalten, so ist es eigentlich selbstverständlich, dass die zu beschreibende Reaction nicht auf dem gewöhnlichen Wege, wie man mikrochemische Reactionen anstellt, bewerkstelligt werden kann, indem man das zu untersuchende Object mit einem Tropfen des Reagens in Berührung bringt und die Wirkung von Anfang bis zu Ende unter dem Mikroskop verfolgt. Gleichwol halten wir es wegen der Ungewöhnlichkeit unserer Methode nicht für unnütz, hier ausdrücklich zu betonen, dass, wenn eine schöne Reaction des Protoplasmas mit unserer Lösung erreicht werden soll, die Spirogyren-Zellen immer in nur m ä s i g e r Anzal längere Zeit (etwa 6—8 Stunden in der Kälte) mit einer grösseren Menge des Reagens (etwa  $\frac{1}{2}$  — 1 Ltr.) in Berührung gelassen werden müssen.

<sup>1)</sup> Die hier angegebenen Alkalimengen lassen sich noch etwas verringern, jedoch ohne Erreichung irgend eines Vorteils. Das Kali lässt sich auch durch Kalk ersetzen.



Hiebei wird allmählich das in dem grossen Flüssigkeits-Quantum in nur unbeträchtlicher Menge gelöste Silberoxyd in Folge der Metallabscheidung in den Spirogyren nach den Gesetzen der Diffusion in die Nähe der Zellen herangezogen und so eine Anhäufung des Metalls in den Zellen ermöglicht; lässt man das Object nur in einigen Tropfen der Lösung A (bei Verhinderung der Wasserverdunstung natürlich) liegen, so tritt keine Farbenänderung der Zellen ein. Wendet man zu viel Zellen zur Reaction an, so reicht das in der Lösung enthaltene Silber nicht aus, um die Reaction in allen Zellen deutlich genug hervorrufen zu können. Nicht minder ist darauf zu achten, dass die Spirogyren-Fäden möglichst durch die Flüssigkeit verteilt, nicht etwa in einem Knäuel beisammen belassen werden, weil im letzteren Falle regelmässig die an der Oberfläche des Knäuels liegenden Zellen das andringende Silber in sich aufsammeln und nichts oder nur wenig zu den weiter innen gelegenen gelangen lassen. Sollte die oben angegebene Zeit, innerhalb welcher die Reaction eintritt, zu lang erscheinen, so kann man sich in manchen Fällen (bei resistenterem Plasma) damit behelfen, dass man die Lösung auf 30° erwärmt anwendet, was die Reaction in erheblichem Mase beschleunigt, so dass man schon nach  $\frac{1}{2}$  Stunde nach dem Resultat derselben sich umsehen kann.

Eine auf diese Weise in den Spirogyren-Zellen hervorgerufene Reaction lässt sich in ihren verschiedenen Abstufungen ungefähr folgendermassen schildern: Das Plasma mancher Zellen ist durch Silberabscheidung vollständig schwarz; die Chlorophyllbänder sind wegen der starken Metallabscheidung nicht mehr zu erkennen, keine Stelle des Plasmas ist von der Reduction frei geblieben, während häufig die Enden der Zellen noch tiefer als die übrigen Teile geschwärzt sind; es ist dies die höchste Stufe der Reaction, die an einer Zelle durch das Silberreagens erzielt werden kann und die immer nur bei sehr resistenten Zellen, welche auch nach längerem Contact mit der Silberlösung nicht völlig absterben, auftritt. Andere Zellen haben die Chlorophyllbänder frei von Metallabscheidung, sonst Alles, wenn auch in schwächerem Mase, wie in dem vorher geschilderten Falle, schwarz. (Siehe Fig. 2 der Tafel.) Wieder andere Zellen zeigen die Enden tiefschwarz, sonst



aber die Schwärzung nur in einzelnen Punkten und Flecken auftretend, während bei noch anderen (zu rasch abgestorbenen) die Reaction sich lediglich auf die Enden der Zellen oder nur auf einzelne inselartige Stellen des Plasmas beschränkt. Da abgeschiedenes metallisches Silber, wenn es in sehr dünnen Schichten auftritt, das Licht auch gelb bis rotbraun und violett durchlassen kann, so tritt statt der oben genannten Schwärzung öfters eine verschiedenartige häufig in derselben Zelle wechselnde Nuancirung von orange bis violett, rotbraun und grau auf und bieten diese verschieden gefärbten Zellen oft ein sehr hübsches abwechslungsreiches Bild. Ausser dieser Metallabscheidung tritt durch das Reagens häufig eine andersartige bräunliche Färbung im Plasma allein oder in Plasma und Zellsaft zugleich auf, was, wie oben beschrieben wurde, auf Silberoxydulbildung durch Gerbstoff im ersten Falle oder Zucker im zweiten Falle zurückzuführen ist.

Dass die vorhin beschriebene Reaction eine Reaction auf Leben ist, geht daraus mit Evidenz hervor, dass vorher getötete Zellen, mag die Tötung auf welche Art nur immer bewerkstelligt worden sein, niemals (mit einer einzigen weiter unten beschriebenen und interpretirten Ausnahme) metallisches Silber in sich abscheiden. Es könnte hier der Einwand erhoben werden, dass beim Töten der Zellen, etwa durch Erwärmen im Wasser, der Stoff, welcher die Silberabscheidung in lebenden Zellen bewirkt, austrete. Indess fällt dieser Einwurf sofort in sich zusammen, wenn man bedenkt, dass Zellen, welche so getötet wurden, dass ein Austreten löslicher Stoffe nicht möglich war, etwa durch mechanische Eingriffe oder Austrocknen, ganz dasselbe Verhalten zeigen, wie durch Erwärmen getötete. Ausserdem zeigt das Verhalten des hie und da in den Spirogyrenzellen enthaltenen Traubenzuckers, dass das Austreten der löslichen Stoffe viel zu wenig rasch erfolgt, als dass hiedurch eine Täuschung veranlasst werden könnte; durch Erwärmen im Wasser getötete Zellen zeigen häufig noch Zuckerreaction, wenn dieselben auch 12 Stunden in dem Reagens liegen bleiben. Obwohl in diesem Falle ein Teil des Zuckers austritt und eine braune Färbung der überstehenden Flüssigkeit bewirkt, ist doch in der Regel der Zellsaft noch viel intensiver braun gefärbt als die äussere Flüssigkeit. Auch der Umstand, dass die



schwarze Färbung an Stellen, wo das Plasma von der Wand sich ablöst, nicht in dem dazwischen liegenden Teil auftritt, deutet darauf hin, dass eben das Plasma selbst es ist, welches die Reduction bewirkt.

Ein weiterer nicht zu unterschätzender Beweis dafür, dass wir es hier mit einer Reaction auf Leben zu thun haben, liegt in dem Verhalten der Spirogyren gegen stärker concentrirte alkalische Silberlösungen. Während bei Anwendung der Lösung A auf eine frische lebenskräftige Portion Spirogyra fast sämtliche Zellen starke Reaction zeigen, tritt mit 1 p. m. oder gar mit 1-procentiger alkalischer Silberlösung nur in sehr wenigen Zellen schwache Silberabscheidung, vorwiegend an den Enden der Zellen, auf, und diese Reaction ist augenscheinlich in den ersten Augenblicken der Einwirkung des Reagens vollständig beendet. Wäre jene Silberabscheidung auf einen Stoff zurückzuführen, der mit dem Leben nichts zu thun hätte, so müsste sie offenbar mit den concentrirten Lösungen mindestens eben so stark auftreten wie mit den verdünnten.

Ist nun die beschriebene Reaction wirklich eine Lebensreaction, so ergibt sich aus ihr sofort eine nicht uninteressante Thatsache, die an dieser Stelle um so weniger verschwiegen werden darf, als dieselbe in neuester Zeit von einem Forscher auf ganz anderem Wege als dem unseren gefunden wurde. Die oft merkwürdige Verteilung der Reaction, das stellenweise Auftreten derselben, das den Plasmaschlauch wie mit schwarzen Flecken besetzt erscheinen lässt, deutet nemlich darauf hin, dass ein Teil des Zellenleibes absterben kann, während der andere noch lebt; namentlich scheinen es die Enden der Zellen zu sein, die oft noch dem Tode trotzen, während alle übrigen Teile der Zelle abgestorben sind, und es repräsentirt sich dann ein Spirogyrenfaden dem Beobachter, als ob jener durch schwarze Querstriche an Stelle der Scheidewände abgeteilt wäre. Da die Reaction auch in Fällen, wo die ganze Zelle schön reagirt, häufig an den Enden stärker ist, so scheint wohl an diesen Stellen das Plasma auch dichter zu sitzen als anderswo. Dass Teile eines Zellenleibes für sich, sogar wenn sie von der Zelle getrennt sind, kurze Zeit fortleben können, ist in jüngster Zeit von Engelmann



gefunden worden, welcher Chlorophyllkörper, die aus der Zelle isolirt waren, noch Sauerstoff (erkennbar an den Bewegungen der in der Nähe befindlichen Spaltpilze) entwickeln sah.

Einen etwas anderen Erfolg als den oben beschriebenen hat eine Silberlösung, welche durch Kalkhydrat alkalisch gemacht wurde (Lösung B). In diesem Falle tritt die Reaction viel gleichmässiger durch die ganze Zelle auf, und ausserdem kann man hier sehr häufig die Chlorophyllbänder, die mit einer durch Kali alkalisch gemachten Silberlösung oft farblos bleiben, schön geschwärzt sehen. (Siehe Fig. 3 der Tafel.) Die Lösung B scheint also weniger giftige Wirkung zu haben als die andere, indem in ihr Teile, die mit der Lösung A absterben, ehe sie reagiren können, in ihr längere Zeit fortleben.<sup>1)</sup>

Obwohl nun die beschriebenen mit so sehr verdünnten Lösungen ( $1 \text{ NO}_3\text{Ag} : 100,000 \text{ aq}$  oder  $1 \text{ Ag} : 157,500 \text{ aq}$ ) erhaltenen Reactionen für sich schon staunenerregend waren und den feinsten in der Chemie bekannten würdig an die Seite gestellt werden konnten, fühlten wir uns doch versucht, mit noch stärker verdünnten Lösungen zu operiren und die Grenze der Reactionsfähigkeit des lebenden Protoplasmas mit Silberlösung festzustellen. Nachdem wir gefunden hatten, dass mit Anwendung der Lösungen A und B die schönsten und kräftigsten Reactionen erreicht werden können, bei bedeutenderer Concentration der Lösung aber die Stärke der Reaction abnimmt, verminderten wir den Gehalt des Reagens an  $\text{NO}_3\text{Ag}$  auf 1 Milliontel und wandten auf 1 Ltr. dieses Reagens noch viel spärlichere Zellen an als früher. Zu unserm Erstaunen bemerkten wir nach 12 Stunden (bei *Sp. condensata* Ktz.) in fast allen Zellen Silberabscheidung, wenn auch die Masse des abgeschiedenen Silbers eine geringere war als bei der unverdünnten Lösung A. Indess dürfte auf ein ähnliches Resultat immer nur bei sehr resistenten im kräftigsten Zustand befindlichen *Spirogyren* gerechnet werden können, da hier die durch Entziehung von

<sup>1)</sup> Um mit Zellkernen (z. B. bei *Tradescantia*haaren) eine Silberabscheidung zu erzielen, versetzt man 1 Ltr. einer Lösung von  $\frac{1}{50000} \text{ AgNO}_3$  mit 1 cc. eines 1-procentigen Ammoniaks und 5 cc Kalkwasser.



Nährsalzen schädliche Wirkung des destillirten Wassers weniger in Betracht kommt. — Die Grenze der Reaction fanden wir bei Anwendung einer alkalischen Lösung von 1  $\text{NO}_3\text{Ag}$  auf 2 Millionen Tl. aq, welche nur in sehr vereinzeltten Zellen noch schwache Reaction an den Enden der Plasmaschläuche hervorrief, während die übrigen Zellen abstarben, ohne zu reagiren.

Um die für das Spirogyren-Plasma gefundenen Tatsachen zu verallgemeinern, zogen wir eine Reihe anderer pflanzlicher Objecte in den Kreis unserer Versuche und studirten die Wirkung der Lösung A (manchmal auch der Lösung B) sowol bei andern Süßwasseralgen als bei Haaren höherer Pflanzen und complicirten Gewebekomplexen, wie Zweigen, Blättern und Wurzeln.

*Zygnema cruciatum* Ag. reagirt in ausgezeichnetster Weise mit der Lösung A: sowol das wandständige Plasma als die mittelständigen Portionen und die Plasmodienstränge schwärzen sich intensiv. Doch sind diese Algen für Studien über den Unterschied zwischen lebendem und totem Plasma nicht günstig, weil sie grosse Mengen Gerbstoff enthalten. Dieser lässt, da er an das Plasma gebunden ist, letzteres, auch nach dem Töten, mit Silberlösung noch braun (oft tiefbraun) werden, indem er, wie oben auseinandergesetzt wurde, aus sehr verdünnter alkalischer Silberlösung Silberoxydul bildet; tote Zellen werden hier mit dem Silberreagens niemals ganz farblos erhalten. — *Vaucheria* reagirt sehr intensiv mit der Lösung A; sie besitzt eine auffallende Resistenz, worüber wir uns weitere Mitteilung vorbehalten. — *Cladophora* lieferte ebenfalls ein günstiges Resultat; man sah hie und da in ihren Zellen das abgeschiedene metallische Silber zwischen den dicht aneinander sitzenden Chlorophyllkörpern.

Sehr nahe lag der Gedanke, auch Pflanzenhaare reagiren zu lassen, da sie, ähnlich wie die Spirogyren, häufig aus einfachen Zellreihen bestehen und schon früher öfters zu Studien über Protoplasma mit bestem Erfolg verwendet worden waren (*Tradescantia*-haare). Wir stellten unsere Versuche an einer ganzen Reihe von Haaren an, die den verschiedensten Pflanzen und den mannfaltigsten Pflanzenteilen angehörten. Die schönste Reaction gaben



Blattstielhaare von *Alsophila australis* R. Br.; sie ist fast den besten bei *Spirgoyren* erhaltenen Reactionen zu vergleichen: Das Plasma vieler Zellen war in seiner ganzen Ausdehnung schwarz und häufig zeigte sich, wie bei den *Spirogyren*, die Silberabscheidung gegen die Enden der Zellen zu stärker, was wieder auf Polarität und Dichtigkeitszunahme des Plasmas nach 2 entgegengesetzten Richtungen hin schliessen lässt; oft auch reagierten die Enden der Zellen allein. Getötete Haare geben keine Spur von Metallabscheidung. — Auch Staubfadenhaare von *Tradescantia* lieferten eine gute, der letzten manchenmal vergleichbare Reaction. Bei andern Haaren beschränkte sich die Reaction in der Regel auf einzelne inselartige Portionen des Plasmaschlauches, so dass letzterer wie schwarz punktirt erschien, ein Fall, der auch bei den *Spirogyren* schon erwähnt wurde. Die von uns untersuchten Haare sind ausser den genannten folgende: Kelchhaare von *Primula*, *Ajuga reptans* und *Geum rivale*, Blatthaare von *Ulmus scabra* Mill., Bracteenhaare von *Alopecureus fulvus* Smith, Brennhaare von *Urtica*, Haare von Perigonblättern der *Iris Kochii* Kern, endlich Narbenpapillen von *Tulipa*.

Von einzelligen pflanzlichen Objecten, die aus unserer Lösung Silber abschieden, sind zu nennen: Pollenkörner von *Ranunculus* und *Tulipa*, ferner Sporen von Gold- und Silberfarn (*Gymnogramme*), welche zum Teil recht gut reagierten, während eine andere Anzahl derselben sich negativ verhielt.

Um das Verhalten von Wurzeln gegen die Lösung A zu erforschen, senkten wir Keimlinge von *Helianthus annuus*, welche bereits eine lange Hauptwurzel und mehrere Seitenwurzeln getrieben hatten, fast bis zu den Cotyledonen in das Reagens. Nach 12 Stunden Aufenthalt in dieser Lösung zeigte sich die Wurzel bis zum hypocotylen Stengelglied geschwärzt, namentlich aber hatte die Spitze der Wurzel eine starke Schwärzung erfahren. Unter dem Mikroskop erwies sich die Schwärzung als durch metallisches Silber verursacht, welches in den Epidermiszellen, Wurzelhaaren und den Zellen der Wurzelhaube zur Abscheidung gekommen war. Negative Resultate erhielten wir bei Keimlingen von Mais und Erbse; es möchte sehr zeitraubend sein, in jedem Fall die Gründe des Misslingens der Reaction, welche sehr manch-



faltiger Natur sein können, zu erforschen.<sup>1)</sup> Dass auch ruhendes Plasma Aldehydgruppen besitzt, zeigte uns das Verhalten ungekeimter Samen von *Helianthus annuus*, welche halbirt in die Lösung gebracht wurden und in den der Schnittfläche zunächst gelegenen Zellen deutliche Silberabscheidung erkennen liessen. Die gleichzeitig auftretende grünliche Färbung mag wol nur durch das Alkali verursacht worden sein, da manche bekannte Substanzen wie die Gallussäure, mit Alkali allein eine ähnliche Färbung geben. Bei Behandlung mit verdünnter Salpetersäure wurde die grüne Färbung in eine gelbbraune verwandelt, während die Silbertheilchen unter Gasentwicklung verschwanden.

Als Beispiele von Stengeln dienten uns junge, eben Blüten zur Entwicklung bringende Zweige von *Salix Caprea* L. und *Cornus mascula* L., ferner Zweige von *Syringa vulgaris* mit eben austreibenden Blattknospen. Wir stellten die Zweige mit dem abgeschnittenen Ende in die Lösung und beobachteten nach 12 Stunden eine deutliche Schwärzung an der Schnittfläche. Unter dem Mikroskop gab sich die Schwärzung wieder als Silberabscheidung zu erkennen, und diese war in fast allen Protoplasma-haltigen Zellen der den Zweig zusammensetzenden Gewebe eingetreten. Bei einem Controlversuch, bei dem Zweige von *Cornus mascula* mit der Schnittfläche 2 Stunden dem Aetherdunst ausgesetzt wurden, blieb nachher die Reaction völlig aus.

Versuche mit Blättern von *Vallisneria spiralis* lieferten gleichfalls ein positives Resultat, indem die Parenchymzellen des Blatt-

---

<sup>1)</sup> Bei einem Versuch mit *Pistia*pflänzchen bräunte sich die Wurzelhaube. Da, wie wir fanden, ammoniakalische Silberlösung auf verholzte Membranen bräunend wirkt, so bieten die Zellmembranen jener Wurzelhaube, in denen hier der Grund der Bräunung liegt, vielleicht einen ähnlichen Zustand dar. Bei der zehnfachen Verdünnung des Reagens bräunt sich die Wurzelhaube nicht mehr. Die Braunfärbung verholzter Membranen mit alkalischer Silberlösung scheint darauf hinzudeuten, dass die Verholzung durch Einwanderung eines den Gerbstoffen verwandten Körpers vor sich geht, eine Ansicht, die noch weiterhin durch die Tatsache unterstützt wird, dass, wie wir fanden, verholzte Membranen, wenn sie mehrere Stunden lang in etwa 40-procentiger Schwefelsäure erwärmt werden, mit Eisenchlorid eine rotviolette Färbung annehmen. Aehnlich wie bei *Pistia* bräunen sich Zellmembranen von Blättern mancher Moose und die Membranen der *Vaucheria*.



fleisches da und dort eine nicht unbeträchtliche Silberabscheidung im Plasma aufwiesen.

Aus dem Vorstehenden dürfte wol der Schluss gezogen werden können, dass die Fähigkeit, Silber aus verdünnten alkalischen Lösungen zu reduzieren, eine wesentliche Eigenschaft des lebenden pflanzlichen Plasmas ist, wenn auch nicht alle vegetabilischen Objecte diese Eigenschaft in gleich vorzüglicher Weise erkennen lassen. Ja es gibt Objecte, die niemals eine derartige Qualität zeigen und desshalb gegen den eben aufgestellten Satz zu sprechen scheinen. Wir wollen es nicht unterlassen, in folgendem Kapitel diese Ausnahmefälle, auf die wir im Laufe unserer Versuche stiessen, einzeln vorzuführen, zugleich aber auch immer wo möglich eine befriedigende Erklärung für das Nichtreagiren jener Objecte zu geben.

#### IV. Ausnahmen.

Eine merkwürdige, anfangs für uns geradezu verblüffende Ausnahme, machte eine Fadenalge, *Sphaeroplea annulina* Ag., indem sie bei zahlreichen, vielfach abgeänderten Versuchen keine Spur der gewünschten Reaction gab. Die Vermutung, dass das Protoplasma dieser Alge sensibler<sup>1)</sup> sei als das der früher untersuchten, veranlasste uns, direkt unter dem Mikroskop die Wirkung des Reagens zu verfolgen. Ein paar vollkommen normal aussehende Fäden wurden unter dem Mikroskop mit dem Reagens in Berührung gebracht, wobei momentan eine vollständige Zerstörung der so zierlichen Protoplasmastructur sichtbar wurde: Die Chlorophyllringe lösten sich entweder alle auf einmal oder nacheinander ruckweise von den Wänden los, verloren ihre scharfen Contouren, liessen Stärkekörner austreten und blieben entweder als einzelne rundliche Massen in der Nähe des vorher inne gehaltenen Ortes liegen oder rückten zu einem einzigen Klumpen zusammen. Den Gang der Verwüstung hier zu verfolgen bietet unstreitig viel morphologisch-physiologisches Interesse, besonders

---

<sup>1)</sup> Untersuchungen über den Urgrund der oft ausserordentlichen Verschiedenheiten in der Resistenz verschiedenen Plasmas gegen höhere Temperatur, Säuren, Alkalien, Giften u. s. w. sind bis jetzt noch gar nicht angestellt worden.



wenn man unter dem Mikroskop den ebenso rasch eintretenden Tod gleichzeitig anwesender Infusorien dabei vergleichen kann. Nur wenig langsamer, aber im Princip ebenso wirkte schon ein Wasser mit einem Gehalt von nur 0,001 %  $\text{NH}_3$  oder 0,0001 %  $\text{AgNO}_3$ , ebenso Wasser mit einem geringen Gehalt an Veratrin, ja schon destillirtes Wasser bewirkte unverhältnissmässig rasch den Tod. Unter diesen Umständen war der negative Erfolg unsers Reagens einerseits nicht mehr überraschend, andererseits aber lieferte er ein interessantes Beispiel für den grossen graduellen Unterschied in der Sensibilität des Protoplasmas verschiedener sogar sehr nahe verwandter Organismen. Worauf die oft ausserordentliche Sensibilität eines Protoplasmas zurückzuführen ist, wird wol häufig schwierig zu ermitteln sein; erwähnen wollen wir aber, dass die Sphäroplea ausser durch sehr zarte Membran und dünnen Plasmatschlauch sich noch durch einen viel geringeren Fettgehalt des Plasmas von den meisten übrigen Algen unterscheidet.

Einen Beleg für den Zusammenhang zwischen Fettgehalt und Sensibilität des Plasmas können bei der Copulation von *Spirogyra condensata* Ktz. gemachte Beobachtungen <sup>1)</sup> liefern: das Protoplasma der zur Conjugation neben einander gelagerten, bereits durch Fortsätze in gegenseitige Berührung getretenen Zellen scheidet nämlich kein Silber ab, <sup>2)</sup> sondern zeigt nur die bereits oben beschriebene Zuckerreaktion, ein Zeichen dafür, dass der Zellinhalt dieser *Spirogyra*, wenn er in dieses Stadium ein-

---

<sup>1)</sup> Dieselben Beobachtungen machten wir auch an *Sp. decimina* Ktz.

<sup>2)</sup> Es mag vielleicht nicht überflüssig sein, hier kurz zu bemerken, dass zwei sich konjugirende Fäden nicht vollständig unter sich gleich sind, sondern solche morphologische Verschiedenheiten aufweisen, dass man fast versucht sein möchte, den einen Faden als weiblich, den andern als männlich anzusprechen. Der als weiblich zu bezeichnende Faden, der gewöhnlich die aus der Konjugation hervorgehenden Sporen in sich aufnimmt, zeichnet sich durch stark angeschwollene Zellen aus, deren Kopulationsfortsätze sich nicht scharf abheben, während die Zellen des sogenannten männlichen Fadens wenig oder gar nicht angeschwollen und mit scharf abgesetzten Kopulationsschläuchen versehen sind. Auch bei der Reaktion zeigen beide Fäden einige Verschiedenheiten insofern, als die Zellen des männlichen Fadens öfters noch schwache Silberabscheidung und gewöhnlich keine Zuckerreaktion wahrnehmen lassen, während die weiblichen Zellen niemals eine Silberreduktion, wol aber stets starke Zuckerreaktion aufweisen.



tritt, eine innere Veränderung erleidet, welche denselben weniger widerstandsfähig gegen äussere Einflüsse, in unserm Falle gegen Silberlösung macht. Doch scheint diese Schwächung der Resistenzfähigkeit des Plasmas erst dann sich geltend zu machen, wenn die von den Zellen getriebenen Fortsätze mit einander in Contact treten; denn Zellen, die solche Fortsätze treiben, ohne dass ihnen von der Seite des gegenüberliegenden Zellfadens ebensolche entgegenwachsen (weil sie gleichsam überzählig<sup>1)</sup> sind), geben in allen Fällen eine starke Silberabscheidung, so dass man fast in jedem sich conjugirenden Faden mitten unter dem Gros der blos Zuckerreaktion zeigenden Zellen vereinzelte dicht mit schwarzem Silber angefüllte Zellen bemerkt; bei genauer Betrachtung erweisen sich diese immer als jene überzähligen. Das Ausbleiben der Silberabscheidung bei den im Conjugationsakt befindlichen Zellen ist um so auffallender als die in der Vorbereitung hiezu begriffenen, durch Aufschwellen bereits gekennzeichneten Zellen immer sehr stark reagiren. (Siehe Tafel Fig. 7.) Ist aber das Stadium der Conjugation vorüber und haben sich die Zellinhalte vereinigt, so scheint auch die frühere Resistenz gegen äussere Einflüsse bald wiederzukehren, indem fast alle derartigen Sporen bedeutende Silberreduktion geben. —

Wir erklären uns diese merkwürdige Erscheinung folgendermassen: Durch gegenseitige Berührung der beiden sich anziehenden Plasmata zweier Fäden wird die innere molekulare Bewegung auf's heftigste gesteigert; die Folge davon ist ein vermehrter Verbrauch an Stoff, besonders an Fett. Dieser Fettverbrauch lässt sich in der Tat mit Ueberosmiumsäure nachweisen: die nicht in Conjugation tretenden Zellen zeigen mässige, die zur Conjugation sich anschickenden starke Fettreaction; die zum Zweck der Conjugation bereits mit andern in Berührung getretenen Zellen geben meist kaum Spuren von Osmiumabscheidung, während die fertige aus der Conjugation hervorgegangene Spore sich wiederum stark mit Ueberosmiumsäure schwärzt. (Siehe Tafel,

---

<sup>1)</sup> In Folge von Verschiedenheit in Grösse und Zal der Zellen der sich conjugirenden Fäden.



Fig. 8.) Auch keimende Sporen geben in einem gewissen Stadium keine Osmiumreaction.

Kommt es bei zur Conjugation sich anschickenden Zellen nicht zu einem wirklichen Contact mit andern, wie das bei den oben erwähnten überzäligen der Fall ist, so verschwindet auch das Fett nicht aus denselben. Da also hier ein vollständiger Parallelismus zwischen Osmium- und Silberreaction statt hat, so lässt sich wol behaupten, dass äusserst fein eingelagertes Fett die Resistenzfähigkeit des Plasmas erhöht. Interessant ist, dass mit dem Verschwinden von Fett ein Auftreten von Zucker in den Conjugationszellen verbunden ist.

Von anderen Süsswasseralgen, die mit der Silberlösung keine Schwärzung erfuhren, sind zu nennen: *Oedogonium* und *Oscillaria*, bei denen wahrscheinlich ein ganz ähnlicher Grund für das Nichtreagiren vorliegt, wie bei *Sphäroplea*. — Bei *Nostoc* und *Batrachospermum*, welche ebenfalls ein negatives Resultat lieferten, dürfte die Ursache hiefür höchst wahrscheinlich darin zu suchen sein, dass die die Zellen jener Pflanzen umgebende schleimige Masse den Contact des Reagens mit dem Protoplasma verhindert; auch das Nichtgelingen der Reaction bei Diatomeen möchte einen ähnlichen Grund haben.

Pilze verhalten sich ebenfalls meist negativ gegen das Silberreagens. So konnten wir bei Schimmelsporen, Sprosshefe und Spaltpilzen niemals, bei Schimmelfäden nur selten (an den Querwänden) eine Metallabscheidung erkennen.

Was tierisches Protoplasma betrifft, so schien uns das der höheren Tiere von vornherein ein ungeeignetes Object zu sein, da das Protoplasma derselben zu rasch für unser Reagens abstirbt; hat ja auch Kühne gezeigt, wie ausserordentlich sensitiv schon die niedersten Organismen sind: Während Amöben fast momentan durch eine wässerige (wegen der geringen Löslichkeit stets sehr verdünnte) Lösung von Veratrin getötet werden, können *Tradescantia*haare viele Stunden darin ohne Schaden existiren. Wir versuchten zwar verschiedene Gewebe von Maus und Frosch, doch ohne Erfolg.<sup>1)</sup> Infusorien gaben nur in sehr wenigen Fällen

<sup>1)</sup> Grosse Dichte und Salzgehalt bilden ebenfalls Hindernisse der Reaction.



deutliche Silberabscheidung in ihrem Innern. Warum letztere nicht oder nur sehr schwer reagiren, erklärt sich leicht, wenn man die Wirkung des Reagens auf diese unter dem Mikroskop betrachtet: Sofortige Einstellung der Bewegung und Contraction des Infusorienleibes zu einer Kugel ist die unmittelbare Folge.

#### V. Das Verhalten durch verschiedene Ursachen absterbender Algen gegen das Silberreagens.

Die gefundene Reaction auf Leben suchten wir nun für Studien über das Absterben der Algen zu verwerten, indem dieselbe ein gutes Mittel schien, das Erlöschen des Lebens von Stufe zu Stufe zu verfolgen und den verschiedenen Einfluss abweichender Tötungsarten zu beobachten. Zu folgenden Versuchen dienten uns mehrere Species der Gattung *Spirogyra*.

##### Tötung durch Aushungern.

Eine Portion *Spirogyra communis* Ktz. wurde in einem offenen Gefäss mit Nährlösung in einen von Licht völlig abgeschlossenen Raum gestellt und eine Probe davon von Zeit zu Zeit mit dem Reagens behandelt. Eine merkliche Abnahme der Zahl der reagirenden Fäden trat erst nach 5 Tagen ein, doch betrugen am 7. Tage diese noch immer mehr als 50 Prozent. Die Zellen blieben mit dem Silberreagens zum Teil völlig farblos, zum Teil waren sie durch eine äusserst minimale Silberschicht rötlich bis violett gefärbt. In manchen Zellen bemerkte man das Chlorophyllband geschwärzt, den Rest des Plasmas farblos, wieder in anderen das Band schön grün, im übrigen Plasma aber schwarze Pünckchen zerstreut. (Siehe Tafel Fig. 4.) Manchmal stiess man auf Zellen, die zur Hälfte des Plasmas noch schwach reagirt hatten, mit der andern Hälfte aber nicht mehr, ein Beweis, dass ein Teil des Plasmas derselben Zelle schon abgestorben sein kann, während der andere noch lebt. Stärkmehl war am sechsten Tage vollständig verschwunden, Zucker liess sich wie anfangs so auch jetzt nicht nachweisen, während Ueberosmiumsäure noch in vielen Zellen das Vorhandensein von Fett dartat. Die Chlorophyllbänder waren durch Schrumpfung bis auf die



Hälfte verkürzt und wegen der daraus verschwundenen Stärkekörner homogen geworden, lagen aber in der Mehrzahl der Fälle noch spiralig im Plasmaschlauch, während in andern das Plasma mit dem Chlorophyllband zu einem formlosen Klumpen contrahiert war. — Auch am 9. Tage reagierten noch viele Zellen, ja manche erholten sich wieder wenn sie mit etwas Kohlensäure haltiger Nährlösung dem Lichte ausgesetzt wurden, entwickelten kleine Bläschen von Sauerstoff und häuften bald Stärke in den Chlorophyllbändern, welche allmähig ihre ursprüngliche Länge wieder erreichten, an. — Am 16. Tage sahen alle Zellen wie tot aus: Plasmaschlauch und Chlorophyllbänder waren zusammengefallen und doch reagierten vereinzelte Zellen noch, wenn auch die Reaction immer nur sporadisch, in wenigen Punkten auftrat. Es manifestierte sich hiedurch der letzte Rest von Lebensenergie.

#### Tötung durch Austrocknen.

Wurde *Spirogyra condensata* Ktz. oberflächlich abgetrocknet (indem man sie ganz kurze Zeit auf Fliesspapier liegen liess) und dann 12 Stunden in einer Glocke über concentrirter Schwefelsäure belassen, so reagierten nachher nur sehr wenige Zellen und diese nur in einzelnen inselartigen Portionen. Die Hauptmasse der Zellen gab keine Spur Silberabscheidung. Da wir bei einem andern Versuch mit *Sp. Weberi* gar keine Reagirfähigkeit mehr beobachteten, so scheint hier ein Ausnahmefall vorzuliegen, der bis zu einem gewissen Grade an die Resistenz gewisser Radiolarien und Spaltpilze gegen Austrocknen erinnert.

#### Tötung durch mechanische Eingriffe.

Eine Portion derselben Alge wurde in einer Reibschale heftig gerieben und unmittelbar darauf in das Reagens gebracht. Die intensive Schwärzung normaler Zellen trat nirgends mehr ein, die meisten Zellen, sogar ganz unverletzt scheinende, blieben farblos. Manche reagierten noch an einzelnen Flecken oder Punkten schwarz, andere zeigten einen leichten violetten, roten oder grauen Schimmer, der auf Silberschichten von äusserst minimaler Dicken-Dimension deutet, also den letzten Lebenshauch des Protoplasmas hier sichtbar machte. (Siehe Tafel, Fig. 5, a und b.)



### Tötung durch höhere Temperatur.

Obwol im Allgemeinen die bei andern Organismen gefundene Lebensgrenze von circa  $45^{\circ}$  auch bei den Spirogyren zutrifft, so ist doch durchaus nicht ausgeschlossen, dass manche (fettreiche) Zellen und Sporen eine höhere Temperatur ertragen können. Wie bekannt leben gewisse Algenspecies in dem  $53^{\circ}$  warmen Mineralwasser von Karlsbad, ja in dem  $85^{\circ}$  warmen auf Ischia.<sup>1)</sup>

Wir verfolgten die Wirkung der höheren Temperatur in einem Versuch mit *Spirogyra condensata* von fünf zu fünf Graden und fanden, dass schon kurzes Verweilen in Wasser von  $45^{\circ}$  vielen Zellen den Tod brachte; nach Erwärmen auf  $50^{\circ}$  reagierten bei einer Portion Fäden nur etwa noch 10 Procent der Zellen, auf  $55^{\circ}$  nur circa 2 Procent, auf  $60^{\circ}$  wurde nirgends mehr Schwärzung, sondern nur eine schwache Rötung an seltenen Stellen, besonders an den Enden der Plasmaschläuche wahrgenommen. Jenseits  $65^{\circ}$  reagierte aber keine einzige Zelle mehr, selbst nicht in diesen Spuren. (Das Reagens wurde hier stets  $30^{\circ}$  warm angewendet.)

### Tötung durch electricische Schläge.

Als wir durch eine Masse von *Sp. quinina* kurze Zeit Inductionsfunken schlagen liessen, sahen wir wässrige Flüssigkeit aus der Masse treten und der mikroskopische Befund ergab überall Contraction des Plasmaschlauchs und Ablösung der Chlorophyllbänder. Mit dem Reagens wurde fast nirgends mehr eine Silberabscheidung beobachtet; nur in einem Faden, der wahrscheinlich nicht gut getroffen worden war, da die Structur auch noch ziemlich gute Ordnung zeigte, gewährte man eine schwache Reaction.

### Tötung durch Anästhetica.

Bleiben von anhängendem Wasser befreite Algen kurze Zeit in Aetherdunst liegen, so wird der Plasmaschlauch contrahirt und die Fähigkeit, Silber zu reduzieren, vollständig vernichtet. Nur sehr fettreiche Zellen und manche Sporen ertragen die Wirkung des

---

<sup>1)</sup> Bei manchen Spaltpilzen ist die Resistenz gegen höhere Temperatur noch bedeutender. So fand Nägeli, dass z. B. der *Bacillus subtilis* elf Stunden in Wasser gekocht werden kann, ohne den geringsten Schaden zu nehmen.



Aetherdunstes etwas länger, als man gewöhnlich bei den Spirogyren beobachtet<sup>1)</sup>).

Häufig erhält man, wenn der Aetherdunst längere Zeit auf die Zellen gewirkt hat, eine intensive Gelbfärbung des Zellsaftes mit dem Silberreagens (A), die nur auf Zuckerbildung gedeutet werden kann. Diese Erscheinung lässt zweierlei Erklärungen zu: entweder sind diastatische Fermente schon in der lebenden Zelle vorhanden gewesen, und wird jetzt der von ihnen gebildete Zucker angehäuft, der vorher, so lange das Plasma lebte, sofort weiterem Verbrauch diente, oder es ist bei diesem Absterbemodus erst eine geringe Menge diastatischen Ferments entstanden, was bei den wahrscheinlich sehr innigen Beziehungen zwischen aktivem Albumin und den ungeformten Fermenten nicht ganz undenkbar wäre. Obwohl nun durch Erwärmen auf 50° getötete Algen keinen Zucker mehr bilden, bei welcher Temperatur die ungeformten Fermente bekanntlich ihre Tätigkeit noch nicht einstellen, so halten wir doch letztere Ansicht für die unwahrscheinlichere.

Wasser, das mit Chloroform gesättigt ist, tötet die Spirogyren viel langsamer, als Chloroform oder Aether in Dunstform. So reagierten, als eine Anzahl Fäden der *Spirogyra condensata* 12 Stunden in mit Chloroform gesättigtem Wasser liegen geblieben waren, nachher noch etwa 5% der Zellen mit der Silberlösung.

Liegen in Petroleum hob bald die Fähigkeit, Silber zu reduzieren auf, veranlasste aber starke Zuckerbildung. Absoluter Alkohol vernichtete bei *Spirogyra communis* schon nach 20 Sekunden fast jede Spur von Fähigkeit, Silber zu reduzieren.

### Tötung durch Erstickung.

Auch bei Erstickung der Algen wollten wir mittelst unsres Reagens den Eintritt des Todes konstatiren. Es wurden deshalb Fäden von *Sp. condensata* in etwas Wasser suspendirt und in einem Kolben einem Kohlensäurestrom ausgesetzt. Nach 24 Stunden zeigten dieselben in allen Zellen stark contrahirten

---

<sup>1)</sup> Keimende Samen der Gerste können nach Claude Bernard 6 Tage lang ohne Schaden in einer mit Aetherdunst beladenen Atmosphäre zubringen.

Plasmaschlauch, gaben keine Spur von Silberabscheidung mehr, wol aber eine starke auf Zucker deutende Gelbfärbung.

#### Tötung durch Schwefelwasserstoff.

Bei *Spirogyra communis* hatte eine Stunde Aufenthalt in einer stark mit Schwefelwasserstoff beladenen Luft bedeutende Störungen der Structur und Vernichtung der Silberreductionsfähigkeit zur Folge; bei *Spirogyra nitida* war in derselben Zeit nur wenig Schaden verursacht worden.

#### Tötung durch Säuren.

Nach kurzem Verweilen in Salzsäuregas haltender Luft und Abspülen der Fäden, wurde von *Sp. condensata* keine Spur Silber mehr reduzirt. Bei *Sp. communis* brachte ferner schon ein 30 Minuten langer Aufenthalt in 0,1-procentiger Citronensäurelösung, oder ein 15 Minuten langer in 1-procentiger Säure Vernichtung des Lebens mit sich. Die sichtbare Structur war zwar hier noch auffallend schön erhalten, doch waren die Zellen tot, sie assimilirten nicht mehr und schieden kein Silber aus dem Reagens ab.

#### Tötung durch Alkalien.

Was die Resistenz der Spirogyren gegen Alkalien betrifft, so war dieselbe grösser als wir vermuteten. Nach 5 Minuten Einwirkung einer 10-procentigen Ammoniakflüssigkeit war zwar nirgends mehr Schwärzung mit dem Reagens zu erhalten, dagegen reagirten selbst nach 10 Minuten langem Aufenthalt in 1-procentiger Kali- oder Ammoniaklösung noch manche Fäden trotz erlittener starker Quellung nicht unerheblich.

Bei Anwendung von 1 pro mille Lösungen wurde selbst nach 18 Stunden noch hie und da eine Reaction beobachtet, wenn auch nur in einzelnen zerstreuten Punkten der Zellen<sup>1)</sup>.

#### Tötung durch Kochsalzlösung.

Nach kurzem Verweilen in einer 10-procentigen Kochsalzlösung

---

<sup>1)</sup> In Analogie mit dieser Resistenz steht das Vorkommen von niedern Tieren und Pilzen in stark alkalischen See'n des östlichen Californiens. Sieh O. Loew, Petermanns Geogr. Mittlgn. 1877. p. 136.



ergab sich bei *Sp. comm.* weitaus in den meisten Zellen eine bedeutende Störung der Strukturverhältnisse und wurde aus dem Silberreagens auch keine Spur Silber mehr abgeschieden. Es ist hier darauf zu achten, dass, wenn nicht alles Chlornatrium sorgfältig ausgewaschen wird, sich natürlich etwas Chlorsilber bildet, welches am Licht rasch violett wird und dann vielleicht zu Missdeutungen Anlass geben könnte. Dieses ist auch bei Behandlung der Algen mit andern Chloriden wol zu beachten.

### Tötung durch Metallgifte.

Unter dem Einflusse vieler metallischer Gifte verschwand die Fähigkeit, Silber abzuscheiden, bei den Spirogyren meist langsamer als wir vermuteten. So reagierten noch viele Zellen von *Sp. condensata* nach 2 Stunden Liegen in einer 1-procentigen Bleizuckerlösung oder 12 Stunden Liegen in 0,1-procentiger Lösung von arseniger Säure. Nach einer Stunde Aufenthalt in 1-procentiger Zinkvitriollösung wurde, trotzdem der Plasmanschlauch meist etwas contrahirt und die Chlorophyllbänder oft abgelöst waren, in vielen Zellen noch Reaction erhalten, wenn auch bedeutend schwächer als mit frischen Zellen. Kupfervitriol scheint viel heftiger als Zinkvitriol zu wirken; zwar wurde nachher noch eine Schwärzung mit dem Reagens in manchen Zellen beobachtet, dieselbe bestand aber nur in niedergeschlagenem Kupferoxyd, wie das rasche Verschwinden mit verdünnter Salzsäure dartat.

### Tötung durch organische Gifte.

Ein mehrstündiges Verweilen von *Sp. communis* in 1-procentigen Lösungen von Galläpfelgerbsäure, Gallussäure, Pyrogallol, Resorcin und Hydrochinon vernichtete jede Spur von Reactionsfähigkeit<sup>1)</sup>, ferner hatte eine ebensolange Einwirkung von 0,2-procentiger Salicylsäure sowie eine ganz kurze von 1-procentiger

---

<sup>1)</sup> Der tödtliche Effect der Gerbsäure scheint überraschend, wenn wir bedenken, dass diese in nicht unbedeutenden Mengen in manchen Algen (besonders *Zygnemen*) vorkommt. Indessen wurde schon oben darauf hingewiesen, dass sie in den lebenden Zellen nicht frei, sondern in einer Verbindung — vielleicht als Kalksalz — vorkommt.



Carbolsäure ebenfalls tödtlichen Effect. Nirgends mehr die leiseste Silberreaction! Die Structur nirgends mehr erhalten! Einen merkwürdigen Gegensatz hiezu bilden die Alkaloide. Zwar erleidet unter ihrem Einflusse die Structur gewisse Veränderungen, welche die Unmöglichkeit normaler Lebensverrichtungen unmittelbar im Gefolge haben müssen — aber es werden bei diesem Fall die Aldehydgruppen nicht mitverschoben, denn selbst nach 5—6 tägigen Liegen der Algen in einer einprocentigen Lösung von essigsaurem Strychnin wird die Silberreduction so intensiv erhalten wie zuvor. (Siehe Tafel Fig. 6.) Aehnliche Wirkung beobachteten wir bei Chinin und Veratrin. Das Leben ist hier zwar vernichtet, aber nicht die Lebenskraft. (Siehe oben pag. 20.) Das Protoplasma hat seinen normalen Zusammenhang verloren, aber bei den einzelnen Molecülen des dasselbe zusammensetzenden activen Albumins hat das sich anlagernde Strychnin die sonst meist gleichzeitig miterfolgende Verschiebung der Aldehydgruppen unmöglich gemacht.<sup>1)</sup> In der complicirten Maschinerie sind die Axen gebrochen und die Treibriemen zerrissen, der Dampf bläst aber noch fort.

---

Vergegenwärtigen wir uns nochmals den in dieser Schrift erörterten Nachweis der Aldehydgruppen im Protoplasma — auf deren Energie die lebendigen Eigenschaften des letzteren schliesslich zurückzuführen sind — so müssen wir denselben nur als einen ersten Schritt zur Lösung der weitem zahlreichen Geheimnisse bezeichnen, die in den selbst bei ganz niedern Lebewesen schon so mannfaltigen Functionen des Protoplasmas bestehen. Die Zellteilung, die geschlechtlichen Differenzirungen, welche wir schon bei niedrigen Algen beobachten, die Bildung der wundervollen kalkigen und kieseligen Gehäuse des anscheinend structurlosen Protoplasmaschleims der Foraminiferen und Radiolarien, die Entstehung der in Folge des Zusammenwirkens von Licht-

---

<sup>1)</sup> Kurzes Liegen in einprocentiger Schwefelsäure vernichtet indess auch hier die Reactionsfähigkeit völlig.

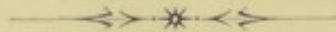


und Protoplasmaschwingungen so merkwürdig functionirenden Clorophyllkörper — alle diese Processe in ihren näheren Ursachen zu erforschen, fordert allein vom Menschegeist noch riesige Anstrengungen. — Grenzen indess dürfen nirgends gezogen werden; weiter und weiter wird der Kreis der Erfahrungen, stets breiter werden die Stufen der Erkenntniss, und schliesslich ist auch die Cardinalfrage: Wie entstand das erste Protoplasma auf Erden? nur eine Frage der Zeit.



## Erklärung zur Tafel.

- Fig. 1. Zelle von *Spirogyra quinina* Ktz. im normalen Zustand.  
„ 2. Dieselbe nach Einwirkung der Silberlösung A.  
„ 3. Dieselbe Alge nach Einwirkung der Silberlösung B.  
„ 4. *Sp. communis* Ktz.; nach 9 Tage langer Lichtentziehung mit Silberlösung A behandelt.  
„ 5. a und b, Zellen von *Sp. condensata* Ktz. nach heftigem mechanischen Stoss, während des Absterbens noch schwache Reaction mit Silberlösung A zeigend.  
„ 6. Spirogyrenzelle nach mehrtägigem Liegen in einprocentiger Lösung von essigsaurem Strychnin mit der Lösung A behandelt.  
„ 7. In Copulation begriffne Fäden von *Spirogyra condensata* mit Lösung A behandelt.  
„ 8. Dieselben nach Behandlung mit Ueberosmiumsäure.





1.



2.



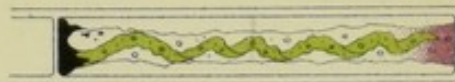
3.



4.



5<sup>a</sup>



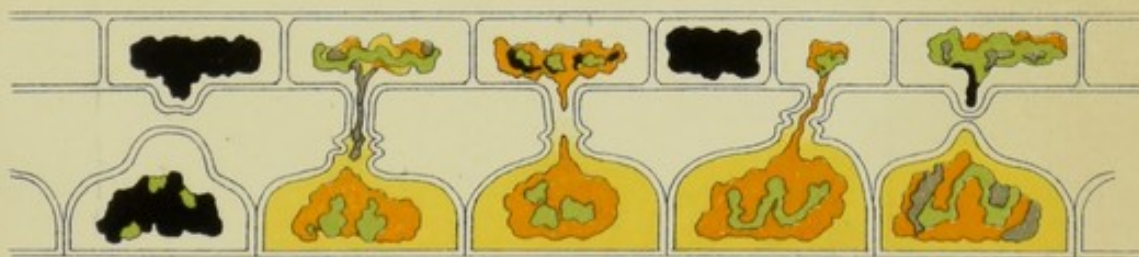
5<sup>b</sup>



6.



7.



8.



