

Experimente zur Theorie der Zellenbildung und Endosmose.

Von

M. TRAUBE, Dr. phil.

1. Vorbemerkungen.

(1.) Für die Erklärung des allgemeinsten und wichtigsten organischen Processes, der Bildung und des Wachstums der Zellen, hat die Physik bisher keine Handhabe geboten. Niemals ist eine analoge Erscheinung ausserhalb des Organismus wahrgenommen worden.

Die Beobachtung Ascherson's, dass Fetttropfen in Eiweisslösung sich mit einer Membran bekleiden, bot keine Vergleichungspunkte, da diesen Gebilden die Fähigkeit zu wachsen, verschiedene Formen anzunehmen und ihren Inhalt durch Endosmose zu ändern, abgeht, die organischen Zellen überdies, wie directe Beobachtungen lehren, niemals durch Umkleidung eines Fetttropfens mit einer Membran entstehen.

(2.) Ich werde in Nachstehendem zeigen, dass die Bildung geschlossener, des Wachstums in verschiedenen Formen fähiger Bläschen ein, unter gewissen Bedingungen und bei einer bestimmten Beschaffenheit der auf einander wirkenden Stoffe, jedesmal auftretender einfach physikalischer Vorgang ist. Selbstverständlich kann nicht die Rede davon sein, dass die so gebildeten künstlichen Zellen auch alle übrigen Eigenschaften organischer Zellen besitzen. Die Bildung geschlossener, des Wachstums in verschiedenen Formen fähiger Bläschen ist nur einer der vielen Prozesse, die zusammenwirkend das vor-

stellen, was wir Leben nennen. Die Fähigkeit der organischen Zellen, von aussen aufgenommene Stoffe in eine ihrem Inhalt gleichartige Substanz umzuwandeln, sich zu neuen Zellen zu zertheilen, oder in ihrem Inneren neue zu erzeugen u. s. w. — jede dieser Erscheinungen muss den Gegenstand neuer physikalischer Untersuchungen bilden.

Man könnte zweifelhaft sein, ob der von mir aufgefundene Process der Zellenbildung mit dem in der organischen Welt thätigen identisch ist, da gleiche Erscheinungen durch verschiedene Ursachen bedingt sein können. Auf diesen Einwurf werden wir später zurückkommen nach Mittheilung der Versuche und nachdem man deren auffallende Aehnlichkeit mit den betreffenden Erscheinungen der organisirten Welt kennen gelernt hat.

(3.) Meine Untersuchungen nahmen ihren Ausgangspunkt von der physiologisch festgestellten Thatsache, dass das Protoplasma, der schleimige Inhalt, der wesentlichste Bestandtheil der Zelle ist, aus dem alle ihre übrigen Bestandtheile entstehen, die Membran insbesondere durch Erhärtung seiner äussersten Schicht. Das auf diese Weise entstehende, geschlossene Bläschen hat die Eigenschaft zu wachsen, indem sich der Inhalt durch Endosmose vergrössert, gleichzeitig aber auch in demselben Maasse die Membran an Umfang zunimmt. Die Erhärtung des Protoplasmas (die Membranbildung) beschränkt sich demnach nur auf die äusserste peripherische Schicht in der Weise, dass sich bei dem Wachsthum der Zelle die neu erhärtenden Molecüle zwischen die bereits erhärteten Molecüle der vorhandenen Membran einlagern.

Es ist durch die genialen Untersuchungen Nägeli's über allen Zweifel erhoben, dass das Wachsthum der Membran in der angegebenen Weise durch Intussusception erfolgt und dieser eigenthümliche, der Bildung von Krystallen durch Apposition der Molecüle gleichsam entgegengesetzte Vorgang war vor Allem physikalisch zu erklären.

(4.) Eine Handhabe hierzu schien mir in der bedeutenden Entdeckung Graham's gegeben, dass unkrystallisirbare Stoffe

(von ihm Colloide genannt) z. B. Eiweiss, Leim, Gummi, Gerbsäure u. s. w. unfähig sind, durch colloide Membranen zu diffundiren.

Da erfahrungsgemäss die Niederschläge, die colloide (amorphe) Stoffe unter einander bilden, fast immer wieder amorph sind, so durfte man voraussetzen, dass ein Tropfen eines in Wasser gelösten Körpers A in die wässrige Lösung eines Colloids B gebracht, welches mit A eine unlösliche Verbindung eingeht, sich sofort mit einem unlöslichen, amorphen Ueberzug bekleiden würde, der seinen beiden Componenten A und B jede weitere Einwirkung auf einander verwehrte. Auf diese Weise musste eine geschlossene Membran entstehen.

(5.) War ferner der Tropfen A concentrirter, als die umgebende Lösung von B, so musste gleichzeitig unter Vergrösserung des Tropfens A ein endosmotischer Wasserstrom durch die geschlossene Membran von B nach A gehen. Der Tropfen A musste wachsen und die Molecüle der geschlossenen Membran durch die eintretende Spannung so weit auseinander gedrängt werden, dass neue Molecüle der inneren Flüssigkeit mit der äusseren Lösung in Berührung kamen und, erhärtend, die Substanz der Membran vermehrten. Der Process der chemischen Fällung konnte sich wegen colloider Beschaffenheit der Membran niemals in den Tropfen hinein, sondern immer nur auf dessen peripherische Schicht erstrecken. Der Process der Intussusception war dann in einfachster Weise nachgeahmt, und in Zusammenhang damit die Bildung und das Wachstum der Zellen auf ein physikalisches Phänomen zurückgeführt.

Alle diese Voraussetzungen sah ich in überraschender Weise bestätigt, wenn auch erst nach vielen vergeblichen Versuchen, von denen ich einige dennoch für mittheilenswerth halte, da sie wesentlich zur Erhellung der Theorie des Processes beitragen.

2. Zellenbildung aus Leim und Gerbsäure.

(6.) Es giebt im Ganzen nur sehr wenige lösliche Colloide, die mit einander zu unlöslicher Verbindung zusammentreten. Am Geeignetsten zu den beabsichtigten Versuchen schienen

mir Leim und Gerbsäure, die in wässriger Lösung zusammengebracht, einen vollkommen amorphen, flockigen, weissen Niederschlag erzeugen.

Versuch. Ich goss mittelst einer eisernen Form Kugeln¹⁾ von Leimgallerte (1 Theil des unter dem Namen „Gelatine“ bekannten farblosen, ziemlich reinen Leims auf 2 Gewichtstheile Wasser) und brachte eine solche Kugel von 14,5 Mm. Durchmesser und 1,79 Gr. Gewicht in eine 1,4 procentige Lösung von Gerbsäure. Sie überzog sich mit einer schmutzig grauen²⁾, fast undurchsichtigen Haut von so geringem Zusammenhang, dass sich zahlreiche, feine Theilchen ablösten, die umgebende Flüssigkeit anfänglich trübten und nachher als Niederschlag auf den Boden des Gefässes sich senkten.

Die Kugel nahm durch Wasseraufnahme an Volum zu und hatte nach 13 Tagen ein Gewicht von 6,5 Gr. und einen Durchmesser von ca. 22 Mm. Die Einwirkung der Gerbsäure hatte sich trotz der langen Dauer des Versuchs nur auf den Umfang der Kugel erstreckt, eine dünne, leicht ablösbare und zerreissliche, pelzige Haut bildend. Die eingeschlossene Leimmasse war zu Ende des Versuchs klar durchscheinend und elastisch, wie zu Anfang.

(7.) Versuch. Unterwarf man unregelmässig geformte Stücke von Leimgallerte demselben Versuch, so quollen sie unter der Haut von gerbsaurem Leim auf, indem sie ihre unregelmässige Form beibehielten. Niemals verloren sich hier die Ecken und Kanten, niemals bildete sich hier eine Kugelform aus. Die Molecüle der Gallerte, obschon durch die Quellung (endosmotische Wasseraufnahme) aus einander rückend, behielten ihre relative Lage bei.

Durch diesen, mit gleichem Resultat mehrfach wiederholten Versuch war erwiesen, dass es amorphe Niederschläge

1) Man brachte den Leim deshalb in eine regelmässige (Kugel) Form, um die Zunahme des Volums in der verdünnten Gerbsäure leichter wahrnehmen zu können.

2) Die graue Färbung rührt von einem Eisengehalt aus der Kugelform her. Nicht eisenhaltige Leimgallerte überzieht sich in Gerbsäure mit einer mattweissen Haut.

giebt, die, durch chemische Einwirkung zweier amorpher Körper entstanden, deren weitere Wechselwirkung, nicht aber das endosmotische Durchströmen der Wassermolecüle hindern.

(8.) Versuch. Eine Kugel von Leimgallerte (von 1 Theil Gelatine und 2 Theilen Wasser) von 1,79 Gr. Gewicht wurde in 70 Cc. einer 1,4 proc. Lösung von Gerbsäure gebracht, die ausserdem 0,2 Gr. (krystallisirte) Weinsäure enthielten. Es zeigten sich hier die nämlichen Erscheinungen der Hautbildung einerseits und der Quellung des eingeschlossenen Inhalts andererseits, wie im vorigen Versuch, mit dem Unterschied, dass die Quellung hier viel bedeutender war. Nach 13 Tagen hatte die Kugel durch Wasseraufnahme ein Gewicht von 14,4 Gr. erlangt und der Inhalt nicht mehr die anfängliche, gallertig-elastische Beschaffenheit, sondern eine zäh-schleimige Consistenz.

(9.) Versuch. Eine ähnliche Erscheinung gab eine luft-trockene Leimkugel in 22 Cc. einer concentrirteren (5 procentigen) Gerbsäure, die ausserdem 0,4 Gr. (krystallisirte) Weinsäure enthielten. Hier war der Inhalt der mit gerbsaurem Leim überzogenen Kugel bereits nach 3 Tagen schleimig flüssig geworden unter sehr beträchtlicher Zunahme des Volums. (Die Kugel hatte sich von 12 Mm. Durchmesser zu einem platten Sphäroid von 18 Mm. Höhe und 23 Mm. Breite vergrössert.)

(10.) Versuch. Wurde der Gerbsäure statt Weinsäure Essigsäure zugefügt (1 Cc. auf 70 Cc. der 1,4 proc. Gerbsäurelösung), so wurde ebenfalls eine viel stärkere Quellung und Gewichtszunahme der Leimkugel (von 1,79 Gr. bis zu 13 Gr. in 13 Tagen), als in blosser Gerbsäure (s. 6.) beobachtet. Auch hier wurde der Inhalt zähschleimig.

(11.) Mochte die Leimgallerte durch den Zusatz der geringen Menge Wein- oder Essigsäure chemisch verändert oder nur ihre Cohäsion verringert worden sein, — ich zog aus den wahrgenommenen Erscheinungen den Schluss, dass die gallertige Beschaffenheit des Leims seiner endosmotischen Kraft entgegenwirke, dass die Leimmolecüle um so mehr und rascher Wasser durch Endosmose aufnehmen, je geringere Cohäsion sie

besitzen, dass mithin Körper, die nicht gallertig erstarren, eine viel bedeutendere endosmotische Kraft äussern müssten.

(12.) Versuch. Die bisherige Versuchsweise wurde deshalb umgekehrt und Gerbsäure (die bekanntlich selbst bei starker Concentration nicht zu Gallerte erstarrt und selbst nach vollkommener Eintrocknung eine leicht lösliche Masse bildet) in Leimlösung eingebracht in folgender Weise:

Ein Glasstab wurde zunächst in eine stark eingedickte, zähflüssige Gerbsäurelösung eingetaucht, so dass ein kleines Tröpfchen daran hängen blieb. In eine erkaltete, noch flüssige Auflösung von 1 Gr. Gelatine in 50 Cc. Wasser eingetaucht, bekleidete sich das Tröpfchen bald mit einer schwach opalescirenden Membran von gerbsaurem Leim, innerhalb deren es sich in wenigen Minuten unter bedeutender Anschwellung löste. Nach 5 Minuten bereits hatte sich eine birnförmige, mit dem Kopf nach unten gerichtete Blase gebildet, die sich innerhalb 24 Stunden zu einer fast kugelförmigen, mit klarem Inhalt gefüllten Zelle von ca. 8 Mm. Durchmesser ausdehnte. Die Leimlösung war inzwischen zu einer zarten Gallerte erstarrt.

Auch später wuchs die Zelle noch beträchtlich, indem sie der umgebenden Leimgallerte Wasser entzog.

(13.) Der folgende Versuch giebt einen weiteren Belag dafür, wie sehr alle diejenigen Bedingungen, die die Coagulationsfähigkeit des Leims vermindern, nicht nur seine endosmotische Kraft, sondern auch die Cohärenz und Homogenität des von ihm mit Gerbsäure gebildeten Niederschlages vermehren.

Versuch. In eine frisch bereitete, verdünnte, noch flüssige kochsalzhaltige Leimlösung (auf 1 Theil Leim 11 Theile Wasser und 0,05 Theile Kochsalz) wurde das abgerundete Ende eines Glasstabs getaucht und der anhängende, möglichst grossgenommene Tropfen so lange am Glasstab gedreht, bis er eben zu erstarren begann. (Temperatur des Arbeitszimmers 21° C.) Hierauf in eine Flüssigkeit getaucht, die aus 37 Cc. Wasser, 3 Cc. 15proc. Gerbsäure und 3 Cc. 5proc. Kochsalzlösung bestand (d. h. ungefähr 1 pCt. Gerbsäure und 0,35 pCt. Kochsalz

enthielt) bekleidete sich der Tropfen mit einer ihn scharf umgrenzenden, völlig klaren, glasartig durchsichtigen Membran, innerhalb welcher er sofort wieder flüssig wurde und sich in wenigen Minuten zu einer mit wasserklarem Inhalt gefüllten Blase ausdehnte.

Bei der geringen Festigkeit der Membran senkte sich die birnförmige, mit dem Kopf nach unten gerichtete Blase auf den Boden des Gefässes, indem sie mit dem Glasstab durch eine schlauchförmige Röhre verbunden blieb, die sich allmählich zu einem dünnen Bande zusammenzog. 30 Minuten nach Beginn des Experiments auf den Boden des Gefässes angelangt, breitete sich die schon vorher schwach irisirende Blase zu einem platten Sack aus, dessen Membran wegen ungemeiner Feinheit, einer Seifenblase ähnlich, in den glänzendsten Regenbogenfarben schimmerte.

Noch $2\frac{1}{4}$ Stunden nach Beginn des Versuchs irisirte die Membran, späterhin nicht mehr. Der Inhalt wurde zuletzt unter Trübung gallertig fest.

(14.) Derselbe Versuch mit dem eben erstarrten Tropfen einer concentrirteren und kochsalzhaltigeren Leimlösung (3 Theile Leim, 18 Theile Wasser und 0,13 Theile Kochsalz) in der nämlichen Gerbsäurelösung angestellt, gab dieselben Erscheinungen, aber mit noch mehr beschleunigter endosmotischer Ausdehnung der entstehenden Zelle.

(15.) Zum Gelingen der eben beschriebenen Versuche ist es durchaus nöthig, dass der Leimtropfen nicht bereits lange vorher erstarrt ist und sowohl die Leim-, als auch die Gerbsäurelösung Kochsalz enthält, wie aus folgenden Parallelversuchen hervorgeht:

1) War der Leimtropfen schon lange vorher geronnen, so war die in Gerbsäure gebildete Haut trübe und das endosmotische Anschwellen des Inhalts erfolgte eben so langsam, wie im Versuch sub 6. (Wurde er andererseits noch flüssig und nicht ganz abgekühlt in die Gerbsäure gebracht, so zerfaserte er sich zu einem weissen Niederschlag.)

2) Bekam die Leimlösung keinen Zusatz von Kochsalz, so bildete sich, wenn man einen eben erstarrten Tropfen nahm,

zwar ebenfalls sofort eine klare, glasartig-durchsichtige Membran; das rasche Anschwellen des Tropfens aber hörte bald durch eintretende Gerinnung auf.

3) Gab man dem Leimtropfen einen Zusatz von Kochsalz, nicht aber der umgebenden Gerbsäure, so dauerte das rasche Wachsthum zwar länger als im vorigen Falle, aber nicht so lange, als in den Versuchen sub 13. und 14., wahrscheinlich deshalb, weil der Kochsalzgehalt der Leimlösung durch die Membran in die umgebende Gerbsäure diffundirte und durch die erfolgte Verdünnung seine Eigenschaft einbüßte, die rasche Coagulation des Leims aufzuhalten.

(16.) Stellte man den Versuch sub 13. mit der einzigen Abänderung an, dass man die Leimlösung nicht als einen am Glasstab hängenden Tropfen in die Gerbsäure brachte, sondern ein Stückchen frischer Leimgallerte auf dem Boden des Gefäßes mit Gerbsäure übergoss, oder ein damit gefülltes Näpfchen in die Gerbsäure hineinstellte, so gelang der Versuch nicht.

Es überzog sich zwar auch dann die Oberfläche des Leims anfänglich mit einer klaren Membran, die rasche endosmotische Anschwellung hörte aber bald unter Erstarrung des Leims und allmählicher Trübung der Membran auf.

(17.) Diese Erscheinung ist in folgender Weise zu erklären:

Hängt der Tropfen an einem Glasstab frei in der Flüssigkeit, so ziehen zunächst alle der Membran angrenzenden Leimtheilchen Wasser durch dieselbe hindurch an und indem sie hierdurch specifisch leichter werden, steigen sie auf, um sich in dem oberen Zellenraum anzusammeln, während die endosmotisch noch nicht verdünnten Leimtheilchen hinabsinken, um ihrerseits wieder sich endosmotisch zu verdünnen, dann aufzusteigen u. s. w.

So findet eine fortwährende Strömung in dem Inhalt der Zelle statt und der untere Theil derselben stellt sich als der eigentliche Heerd des endosmotischen Vorgangs dar, der in dem oberen Raum, wo sich die verdünnte Leimlösung sammelt, bald still steht.

Sobald demnach gerade die untere Fläche des aufliegenden Leimtropfens (wie in Vers. 16.) von der Berührung mit der umgebenden verdünnten Gerbsäure ausgeschlossen ist, so geht der endosmotische Process und mit ihm die Verdünnung und Anschwellung des Leimtropfens nur äusserst langsam vor sich und dieser erstarrt, ehe die in den Versuchen 13. und 14. beschriebenen Erscheinungen auftreten können.

(18.) Die Eigenschaft des Leims, zu fester Gallerte zu gerinnen, zeigt sich demnach in allen Fällen als das wesentlichste Hinderniss für eine vollkommenes Gelingen der Versuche.

Nicht nur die endosmotische Kraft des Leims erfährt durch die gallertige Consistenz eine bedeutende Schwächung (s. 11.), — auch die Fähigkeit, einen Niederschlag in Form einer klaren glasartig durchsichtigen Membran zu erzeugen, besitzt der Leim nur dann, wenn er noch flüssig oder nicht völlig geronnen ist (s. 13. und 14.). Völlig geronnen bildet er mit Gerbsäure immer nur trübe, wenig zusammenhängende Häute.

(19.) Der gallertige Zustand beruht, wie es scheint, auf einer bestimmten Lagerung der Molecüle nach der Richtung, in der sie sich am stärksten anziehen.¹⁾ Dafür, dass die richtende Kraft dieser Anziehung nicht beträchtlich ist, spricht die Thatsache, dass das Gelatiniren eine meist langsame, bei sehr verdünnten Lösungen erst nach mehreren Stunden, ja Tagen eintretende Erscheinung ist. Dennoch reicht diese geringe Cohäsion hin, bei der Verbindung des Leims mit Gerbsäure der Lage-

1) Die wechselseitige Anziehung der, wie im Verlauf der Abhandlung sich ergeben wird, ungemein grossen Leimmolecüle übertrifft in ihrer räumlichen Wirkung die Grösse der Molecüle offenbar um ein Vielfaches und nimmt, obgleich an sich nicht beträchtlich, doch mit der Entfernung der Molecüle nur sehr langsam ab. Der Beweis dafür liegt darin, dass der Leim selbst bei Verdünnung mit der 100fachen Gewichtsmenge Wasser noch eine Gallerte mit bestimmter Lagerung der Molecüle bildet, und dass die Cohärenz der Gallerte allerdings um so geringer ist, je mehr Wasser sie einschliesst und je weiter die Leimmolecüle von einander entfernt sind, aber mit dem zunehmenden Wassergehalt verhältnissmässig nur langsam abnimmt.

nung der neu entstehenden Molecüle einen Widerstand entgegen zu stellen. Nur, wenn dieser Widerstand nicht vorhanden, oder vorher beseitigt ist, vermögen sich die Molecüle des gerbsauren Leims nach den durch ihre gegenseitige Anziehung bestimmten Richtungen zu einer klaren Membran zusammenzulegen.

(20.) Da in allen mitgetheilten Versuchen die Eigenschaft des Leims zu gelatiniren, sich im Beginn oder weiterem Verlauf des Experiments als störendes Moment erwies, so musste die weitere Forschung darauf gerichtet sein, ein Verfahren zu finden, wodurch dem Leim die Gerinnungsfähigkeit benommen werden konnte, ohne ihm seine Eigenschaft zu rauben, mit Gerbsäure eine unlösliche Verbindung einzugehen.

Zahlreiche derartige Versuche, Vermischen der Leimlösung mit Eiweiss, Gummi, Traubenzucker, mit Salz-, Essig- oder Weinsäure in den verschiedensten Verhältnissen führten nicht zum Ziel, bis ich mich endlich der Thatsache erinnerte, dass der Leim durch lange anhaltendes Kochen mit Wasser seine Fähigkeit zu gerinnen einbüsst.

Mit solchem Leim sind die im nächsten Abschnitt mitgetheilten Versuche angestellt. Ich nenne ihn der Kürze wegen β Leim zur Unterscheidung von dem gewöhnlichen, den ich mit α Leim bezeichne.

(21.) Ich hatte vorher noch ein zweites Verfahren gefunden, die Coagulationsfähigkeit des Leims zu beseitigen: 3 Gr. Gelatine wurden in der Wärme unter Ersatz des verdampfenden Wassers mit einer zur vollständigen Fällung nicht genügenden Menge Gerbsäure (0,7 Gr.) und 10 Gr. Wasser digerirt. Nach dem Erkalten erhielt man unter Abscheidung eines zusammenhängenden Gerinnsels eine etwas trübe Lösung, die eine, selbst bei starker Concentration nicht coagulirende (basisch gerbsaure) Leimverbindung enthielt. Durch Wasser wird sie milchig trübe unter Abscheidung von gerbsaurem Leim. In Gerbsäure gebracht, bildet sie mit Leichtigkeit Zellen, deren Inhalt aber bei endosmotischer Wasseraufnahme trübe wird durch die oben erwähnte Abscheidung von gerbsaurem Leim.

Ich glaube die mit dieser Verbindung angestellten Versuche,

die ich in einer „vorläufigen Mittheilung“ beschrieb, hier übergehen zu können, da die damals noch nicht angestellten Versuche mit β Leim viel schärfere Resultate ergaben.

3. Zellenbildung aus β Leim und Gerbsäure. Ursache der Spannungserscheinungen in den Zellen.

(22.) Darstellung des β Leim. 50 Gr. Gelatine und 200 Gr. Wasser wurden in einem Kolben in einem Bade von Stearinsäure erhitzt bis zum Kochpunkt der Lösung, der durch den starken Leimgehalt auf 101° C. erhöht war. In der Mündung des Kolbens befand sich ein Kork, durch den ein mit kaltem Wasser umgebenes, senkrechtes Rohr durchging, so dass die Wasserdämpfe beständig zurückflossen. Nach 12stündigem Kochen war die Gallerte beim Erkalten nicht mehr fest, nach (im Ganzen) 31stündigem Kochen blieb die Lösung nach dem Erkalten flüssig, ohne selbst nach 36 Stunden zu coaguliren. Nur zu sehr starker Concentration eingedampft, bildete sie nach dem Erkalten noch eine Art Gallerte von geringer Consistenz, die sich aber in Wasser leicht löste. Diese Eigenschaft, bei sehr starker Concentration noch eine zarte Gallerte zu bilden, konnte durch noch länger fortgesetztes Kochen nicht beseitigt werden.

(23.) Filtrirt und durch Stehen an der Luft oder durch Abdampfung trocknet der so behandelte Leim zu einer spröden, rissigen, leicht zerreiblichen, etwas gelblich gefärbten Masse ein, die sich mit Leichtigkeit in Wasser löst und mit Gerbsäure Niederschläge von demselben Aussehen giebt, wie die Lösung des gerinnbaren α Leims.

(24.) In concentrirter Gerbsäure löst sich der β Leim reichlich schon bei gewöhnlicher Temperatur, noch weit mehr in der Wärme. Die Lösung mit Wasser verdünnt, trübt sich stark unter Ausscheidung von gerbsaurem Leim, da die Löslichkeit des Leims in Gerbsäure mit der Verdünnung rasch abnimmt.

(25.) Umgekehrt löst sich die Gerbsäure in concentrirtem β Leim und um so weniger, je verdünnter der letztere. Wasser löst den gut gewaschenen gerbsauren β Leim kaum spurweis, da

es selbst nach mehrtägigem Stehen mit diesem Niederschlag, mit schwefelsaurem Eisenoxyd auf Gerbsäure geprüft, eine kaum wahrnehmbare Bläuung zeigte.

(26.) Zur Darstellung der Zellen wurde das Ende eines Glasstabs in eine erwärmte, sehr concentrirte, beim Erkalten erstarrende Lösung von β Leim getaucht und der herausgehobene, mehr oder weniger grosse Tropfen¹⁾, nachdem man ihn gewöhnlich einige Stunden hatte an der Luft trocknen lassen, am Glasstab in Gerbsäurelösung getaucht, so dass die sich bildende Zelle senkrecht am Glasstab herabhing.

(27.) Versuch. Die Zellen zeigen beträchtliche Verschiedenheiten je nach der Concentration der angewandten Gerbsäurelösung, wie nachstehende Versuche ergeben:

1) In 0,8proc. Gerbsäure²⁾ hob sich nach wenigen Minuten eine prall gespannte, kugelförmige krystallklare Membran mit einfachem Glasglanz (nicht irisirend) von dem Leimstückchen ab, die aber bald platzte. Trotz wiederholter Versuche gelang es in so verdünnter Lösung nicht, länger dauernde Zellen zu erhalten. (s. sub 62.).

(28.) 2) In 1,1proc. Gerbsäure erschien ebenfalls eine kugelige, glasglänzende Zelle, die aber auch trotz grösster Vorsicht bald platzte.

(29.) 3) Seltener platzten die Zellen, die sich in 1,6–1,8proc. Gerbsäure bildeten. Auch sie hatten sphärische Form und eine glasglänzende, nicht irisirende Membran.

(30.) 4) In 3proc. Gerbsäure hob sich die Membran nicht mehr kugelförmig von allen Seiten des Leimkerns ab, sondern

1) Wollte man sehr grosse Zellen darstellen, so wurde der Glasstab nach kleinen Zeitintervallen wiederholt in die Lösung getaucht.

2) In einer noch verdünnteren Säure bekleidete sich der β Leimtropfen überhaupt nicht mehr mit einer Membran. Es floss dann nur ein nebliger Streifen der gerbsauren Verbindung von dem Leimstückchen herab.

Der procentische Gehalt der Gerbsäurelösung bezieht sich übrigens auf lufttrockene (nicht bei 100° C. getrocknete) gewöhnliche officinelle Gerbsäure.

nur von dessen unterer Fläche, sich im Verlauf des Wachsthum's zu einem länglichen, ellipsoiden Schlauch entwickelnd mit schwach irisirender Membran.

(31.) 5) Dieselbe Schlauchbildung stellte sich in 3,5proc. Gerbsäure ein; hier war die Membran sofort deutlich irisirend.

(32.) 6) In 5proc. Gerbsäure erschien nach ungefähr 10 Minuten an der unteren Fläche des Leimtropfens ein schlaffes, faltiges (birnförmiges) Säckchen mit schön irisirender Membran, das sich nach wenigen Minuten am Anheftpunkt zusammenschnürte und nach weiteren 10 Minuten mit dem (erst zum kleinsten Theil gelösten, noch am Glasstab hängenden) Leimtropfen nur durch einen Faden oder eine dünne Röhre zusammenhängend, als sehr schön irisirendes schlotterndes Säckchen am Boden lag.

(33.) 7) In 6proc. Gerbsäure beobachtete man die nämlichen Erscheinungen, nur mit noch rascherem Verlauf.

Das Ergebniss dieser Versuche lässt sich dahin zusammenfassen, dass

(34.) 1) in verdünnter Gerbsäure Zellen entstehen, deren Membran keine Falten zeigt und vollständig von ihrem Inhalt in der Weise ausgefüllt ist, dass sie durch ihn in allen ihren Theilen gespannt wird. (Ich nenne sie gespannte Zellen).

Dagegen bilden sich

(35.) 2) bei einer grösseren Concentration der Gerbsäure schlaffe Säcke, die von ihrem Inhalt nicht ausgefüllt werden und keine Spannung durch ihn erleiden. (Ich nenne sie schlaffe Zellen).

(36.) 3) Die gespannten Zellen sind entweder kuglig oder ellipsoid (schlauchförmig) und nähern sich um so mehr der ersteren Form, je verdünnter die Gerbsäure.

(37.) 4) Die Membran der schlaffen Zellen irisirt deutlich, während die gespannten wenig oder gar nicht irisiren und da nach bekannten Lehren der Physik das Irisiren durchsichtiger Substanzschichten erst bei einer gewissen Dünne derselben ein-

tritt und um so lebhafter wird, je dünner die Schicht, so kann man mit Sicherheit schliessen, dass die Membran der schlaffen Zellen feiner ist, als die der gespannten und dass eine um so stärkere Membran gebildet wird, je verdünnter die Gerbsäure.

(38.) Versuch. Die gespannten Zellen behielten bei ihrem weiteren Wachsthum die anfängliche kuglige oder ellipsoide Form nicht bei. Nach sehr zahlreichen Versuchen konnte man vier Stadien in ihrer Entwicklung unterscheiden:

(39.) Erstes Stadium. Die Form der Zelle blieb kuglig oder ellipsoid, so lange der Leimkern nicht völlig gelöst war und der Zelleninhalt dadurch nahezu gleiche Concentration beibehielt. Nahm man demnach sehr grosse, an Glasstäben hängende Leimstückchen, so dauerte das erste Stadium, da sich der Leimkern nur sehr langsam von aussen nach innen unter Beibehaltung scharfer Umrisse auflöste, mehrere Stunden und die Zelle hatte nahezu sphärische oder ellipsoide Form, wenn auch ihr Durchmesser im Verlaufe des Wachsthums bis auf ca. 15 Mm. stieg.

(40.) Der Inhalt blieb hierbei völlig klar und man konnte die durch verschiedene Lichtbrechung deutlich erkennbaren Streifen concentrirter Lösung von dem Leimkern innerhalb der Zelle herabsinken sehen.

(41.) Zweites Stadium. Nach Lösung des Leimkerns begann der Zelleninhalt sich von oben herab zu trüben durch Ausscheidung von gerbsaurem Leim. (Es wird späterhin (117., 118.) nachgewiesen werden, dass die Gerbsäure nicht durch Diffusion in die Zelle gelangt, sondern durch die lösende Wirkung des Leims auf die Membran (25.).

(42.) Fast gleichzeitig mit der im oberen Theil der Zelle eintretenden Trübung begann dieser Theil auch zu irisiren und aufwärts gerichtete Wülste zu bilden, in welche (bei Darstellung grosser Zellen) der Glasstab gleichsam eingestülpt erschien.

(43.) Drittes Stadium. Weiterhin hörte jede, eine bestimmte Form der Zelle bedingende Spannung, der Druck des

Inhalts gegen die Wandung auf. Die Zelle wurde unter zunehmendem Irisiren zu einem schlaffen, faltigen, gestielt-birnförmigen Säckchen, das zu Boden sank, indem sich der Hals zu einem Bande zusammenzog, bot mithin die nämlichen Erscheinungen, die man bei Anwendung concentrirter Gerbsäure schon im Anfang des Versuchs erhält (s. 32.).¹⁾

Auf dem Boden des Gefässes bildete dann die Zelle einen schlotternden, sehr schön irisirenden Sack mit (durch ausgeschiedenen gerbsauren Leim) milchig getrübttem Inhalt. Das Irisiren der Membran war im dritten Stadium am Lebhaftesten.

(44.) Viertes Stadium. Nachdem die Trübung des Inhalts bis zu einem gewissen Grade zugenommen hatte, trat endlich ein Zeitpunkt ein, wo er sich wieder zu klären begann, indem die suspendirten Theilchen sich allmählich auf die Innenseite der Membran niederschlugen, die, hierdurch schwach getrübt und verdickt, zu irisiren aufhörte. Durch den Druck des noch fortdauernd endosmotisch sich vergrößernden Inhalts auf die in dieser Weise verdickte und widerstandsfähigere Membran trat wieder Spannung ein, das Schlottern verlor sich und die Zellen lagen endlich in halbkugliger Form auf dem Boden des Gefässes, ohne sich noch weiterhin zu verändern.

(45.) Der Inhalt war selbst nach mehreren Wochen flüssig und strömte, wenn man die Haut durchriss, in die umgebende Gerbsäure unter Bildung eines dicken Niederschlags — ein Beweis, dass selbst in so langer Zeit weder Leim noch Gerbsäure durch die Membran hindurchgedrungen waren.

(46.) Diese Entwicklungsstadien waren an die durch Endosmose verursachte Verdünnung des Zelleninhalts geknüpft. War die zu dem Versuch genommene Leimmenge verhältniss-

1) Diese Erscheinungen waren aber hier nicht etwa dem Umstand zuzuschreiben, dass sich die Gerbsäure concentrirte, indem ihr von der wachsenden Zelle Wasser entzogen wurde; denn die Menge der Gerbsäurelösung war meist so gross genommen, dass deren Procentgehalt durch das Wachsthum der Zelle nur sehr unwesentlich verändert werden konnte.

mässig sehr gross gegen die Quantität der umgebenden Gerbsäurelösung, so konnte sie sich nur bis zu einem gewissen Grade d. h. nur so weit verdünnen, bis das Gleichgewicht in der Concentration der inneren und äusseren Lösung hergestellt war. In dieser Weise konnte man bewirken, dass z. B. das letzte Stadium ganz ausblieb und die Zelle, ohne sich stark zu trüben oder zu verdicken, selbst nach 9 Tagen noch irisirte.

(47.) Durch die mitgetheilten Beobachtungen über die weitere Entwicklung der gespannten Zellen bestätigt sich von Neuem, dass ihre Spannung abnimmt, sobald die Membran irisirend und dünner wird. Im dritten Stadium, wo das Irisiren am Lebhaftesten ist, haben sie sich in schlaffe Zellen umgewandelt.

(48.) Aber während wir früher die Bildung schlaffer Zellen nur in concentrirter Gerbsäure eintreten sahen (s. 32.); findet sie hier in verdünnter Säure Statt und zwar dann, nachdem sich auch der Zelleninhalt verdünnt hatte. Es bilden sich demnach zarte, irisirende Membranen sowohl dann, wenn die innere und äussere Lösung concentrirt, als auch dann, wenn beide verdünnt sind.

(49.) Dagegen erzeugen sich dickere und dadurch widerstandsfähigere Membranen, die allein fähig sind, gespannte Zellen zu bilden, nur dann, wenn die Differenz in der Concentration der inneren und äusseren Lösung eine gewisse Höhe erreicht. Je grösser diese Differenz, um so fester wird die Membran, um so mehr nähert sich die Gestalt der Zelle der reinen Kugelform.

(50.) Die Ursache dieser Erscheinung ist offenbar die Intensität des endosmotischen Stroms, die bekanntlich mit der Differenz in der Concentration der in Wechselwirkung tretenden Flüssigkeiten wächst. Je grösser die Intensität des endosmotischen Stroms, um so grösser ist die Anzahl der zu Membran gerinnenden Atomschichten, desto dicker die Membran.

Es ist wohl kaum nöthig hervorzuheben, dass selbst die dickste, in dieser Weise erzeugte Membran von gerbsaurem β Leim noch immer von ungemeiner Feinheit ist und hart an der Grenze steht, wo das Irisiren beginnt.

(51.) Der eben erörterte Einfluss des endosmotischen Stroms beschränkt sich nicht bloß auf die Membran von gerbsaurem Leim, sondern, wie aus später mitzutheilenden Versuchen ersichtlich, wohl auf alle durch chemische Fällung erzeugten Membranen.

Dagegen sind alle anderen von mir untersuchten Membranen selbst bei grösster, oft lebhaftes Irisiren veranlassender Feinheit immer noch widerstandsfähig genug, um gespannte Zellen zu erzeugen. Die Eigenthümlichkeit, in diesem Falle schlaffe Zellen zu bilden, habe ich bis jetzt auf den gerbsauren Leim beschränkt gefunden. (Ueber die muthmassliche Ursache dieser Erscheinung s. sub 92., 93.).

(52.) Diese Thatsache ist um so lehrreicher, als sie beweist, dass die organischen Zellen nicht bloß mit Membran umkleidete Tropfen sind, sondern auch noch die charakteristische Eigenthümlichkeit besitzen, dass ihre Wandung Druck und Spannung von innen her durch den Inhalt erleidet.

Ohne diese Spannung besäße die organische Zelle keine bestimmte Form. Wäre der Raum der Zelle durch ihren Inhalt nicht völlig ausgefüllt, hätte sie Falten, wie die schlaffen Zellen von β Leim, so würde sie, einem schlotternden Sack ähnlich, bei jeder veränderten Lage eine andere Form zeigen.

(53.) Diese Verhältnisse habe ich noch durch einige Versuche erläutert.

Versuch. Während alle bisher mitgetheilten Versuche mit, an dem unteren Ende eines senkrechten Glasstabes befestigten Leimstückchen angestellt waren, so dass der Leimkern sich im oberen Raum der sich entwickelnden Zelle befand, wurde der Versuch umgekehrt.

Die untere Oeffnung eines kurzen, weiten, senkrecht befestigten Glasrohrs war durch einen durchbohrten Kork geschlossen, in welchem ein Glasstab steckte, dessen oberes, mit β Leim dick überzogenes Ende von unten auf in die Röhre hineinragte. Die Röhre wurde mit verdünnter (1,8proc.) Gerbsäure gefüllt.

Hier wuchs die stark gespannte Zelle nach oben, so dass der Leimkern im unteren Zellenraum lag.

(54.) In noch einfacherer Weise wurde derselbe Versuch an-

gestellt, indem man ein trockenes Körnchen β Leim in 1,8 proc. Gerbsäure warf. Auch hier lag dann der Leimkern im unteren Raum der sich bildenden sphäroiden, ein wenig platt aufliegenden Zelle.

(55.) Bemerkenswerth war hierbei, dass die Endosmose auffallend langsamer vor sich ging, als in frei an Glasstäben hängenden Zellen. Die untere Fläche, der Hauptsitz der endosmotischen Thätigkeit (s. 17.) war hier durch Aufliegen der Zelle zum grösseren Theil ausser Action gesetzt.

(56.) Wurden β Leimkörnchen in concentrirte Gerbsäure geworfen, so breiteten sie sich, als schlaaffe Zellen, zu mehr oder weniger flachen Säcken aus, die wegen mangelnder Spannung in der äusseren Erscheinung keine Aehnlichkeit mit organischen Zellen boten.

(57.) Bezüglich der Verfahrungsweise zur Darstellung von Zellen aus β Leim ist noch Folgendes hervorzuheben:

Die Gerbsäure befand sich in den Versuchen in kleinen Fläschchen mit weiter Mündung (Pulvergläsern). Der Glasstab, an dessen Ende der β Leim befestigt war, wurde in einen in die Mündung passenden, durchbohrten Kork gesteckt, in welchem er, an der betreffenden Stelle mit einem Papierstreifen umwickelt, sehr leicht auf- und abgeschoben werden konnte.

Er wurde meist nur so weit in die Gerbsäure hinabgesenkt, dass das Leimstückchen eben vollständig eingetaucht war.

(58.) Es ist, besonders bei Erzeugung grosser kugelförmiger Zellen mit bedeutender Spannung der Membran gerathen, den Glasstab gut abzureiben und zu erwärmen, ehe man ihn in die Leimlösung taucht. Versäumt man diese Vorsicht, so bricht sehr häufig an der Stelle, wo die Membran der Zelle an dem Glasstab ansitzt, der Inhalt durch, bildet aber dann keine membranartigen Auswüchse, sondern coagulirt sofort zu amorphem weissem Niederschlag. Diese störende, noch öfter zu erwähnende Erscheinung nenne ich Eruption.

(59.) Ist der Zusammenhang der Membran durch eine, Anfangs kaum wahrnehmbare Eruption an irgend einer Stelle durchbrochen, so hört das Wachsthum der Zelle bald auf, in-

dem der endosmotisch anschwellende Inhalt durch die Wunde austritt und verästelte weisse Efflorescenzen bildet.

(60.) Dass der β Leim bei derartigen Eruptionen mit der Gerbsäure keine Membran, sondern gewöhnlichen, amorphen Niederschlag bildet, scheint daher zu rühren, dass die durch den Druck in der Zelle mit einer gewissen Geschwindigkeit herausgeschleuderten Leim-Molecüle nach ihrer sofortigen Vereinigung mit Gerbsäure nicht Zeit haben, die zur Herstellung einer Membran nöthige, geordnete Lagerung anzunehmen, die eben nur bei sehr langsamer endosmotischer Ausdehnung möglich ist.

(61.) Will man ein so misslungenes Experiment mit demselben Leimstückchen wiederholen, so genügt es häufig, dasselbe mit starkem Alkohol zu überspritzen und einige Zeit trocknen zu lassen.

(62.) Zu bemerken ist noch, dass bei Darstellung grosser kugelförmiger, stark gespannter Zellen jede Erschütterung des Gefässes vermieden werden muss. Das Vorbeirollen eines Wagens auf der Strasse genügt, die Sprengung der Zelle zu veranlassen. Weniger gespannte, irisirende Zellen ertragen bedeutendere Erschütterungen.

4. Membranbildung.

(63.) Ist die Atomtheorie eine Wahrheit, so muss auch angenommen werden, dass zwischen den Atomen aller Körper leere, von Materie nicht angefüllte Räume — Molecularinterstitien — vorhanden sind. Die Thatsache, dass alle Körper durch Wärme ausgedehnt werden, lässt im Sinne der Atomtheorie keine andere Deutung zu, als dass die Atome sich durch Zuführung von Wärme von einander entfernen und die Zwischenräume zwischen ihnen sich vergrössern.

(64.) Wenn geschmolzene oder gelöste Körper in den festen Aggregatzustand übergehen und die Atome hierbei nicht durch mechanische Störung oder zu rasche Abkühlung gehindert werden, diejenige Lagerung anzunehmen, die ihren wechselseitigen Anziehungen entspricht, so wird nicht nur ihre Lagerung eine geordnete werden, sondern es werden auch die leeren Räume zwi-

schen ihnen — die Molecularinterstitien — eine bestimmte Grösse und Begrenzung haben.

(65.) Eine solche homogene Beschaffenheit besitzen die, zu den Versuchen über Diffusion bisher vorzugsweise benutzten thierischen und pflanzlichen Membranen, Ochsen- und Schweinsblase, seröse Häute u. s. w. nicht. Wie die mikroskopische Besichtigung erweist, bestehen sie aus den verschiedensten anatomischen Gebilden und diese wieder aus verschiedenen Elementarorganen, welche endlich selbst aus verschiedenen Atomaggregaten zusammengesetzt sind. Es ist offenbar, dass diese Membranen ausser Molecularinterstitien noch mehr oder weniger grosse Lücken von unregelmässiger Form besitzen, die wir zur Unterscheidung von den Molecularinterstitien Poren nennen.

(66.) Auch die von Schumacher¹⁾ zu seinen Versuchen benutzte Collodium-Membran musste, wie schon aus deren Darstellung ersichtlich, von Poren durchsetzt sein. Es liess eine alkoholisch-ätherische Lösung des Collodiums auf einer glatten Glasfläche so weit verdunsten, bis sie eine zähe Haut bildete, der er dann durch Wasser den Rest des Lösungsmittels entzog. Dass durch ein solches Verfahren an die Stelle der noch nicht verdunsteten Aether- und Alkoholmoleküle Wasser eindringen und kleine Höhlungen zwischen den Collodiumtheilchen zurückbleiben mussten, geht aus einer Beobachtung von Schumacher selbst hervor.²⁾ Liess er nämlich die alkoholisch-ätherische Lösung völlig verdunsten, so blieb eine durchsichtige, feste Haut zurück, bei welcher die Diffusionserscheinungen so langsam vor sich gingen, dass sie zu Versuchen unbrauchbar waren. Die Auslaugung der noch nicht völlig eingetrockneten Collodiumhaut mit Wasser war eben, wie Schumacher hervorhebt, zur Herstellung einer grösseren Permeabilität durchaus erforderlich.

Aber selbst durch völlige Verdunstung der Collodiumlösung würde eine porenfreie Haut nicht erzielt werden können, da ja

1) S. dessen „Diffusion in ihren Beziehungen zur Pflanze.“ 1861. Winter's Verlag. S. 31.

2) a. a. O. S. 29.

die Aether- und Alkoholtheilchen bei ihrem Entweichen nothwendig grössere Zwischenräume zwischen den Collodiumtheilchen verursachen und zurücklassen müssen.

(67.) Dagegen giebt uns der Process der chemischen Fällung zwischen zwei colloïden Stoffen ein Verfahren an die Hand, Membranen herzustellen, deren Entstehungsart schon beweist, dass sie keine zufälligen, grösseren Poren, sondern nur Molecularinterstitien d. h. nur solche Lücken enthalten können, die die Molecüle auch bei möglichst inniger Berührung vermöge ihrer Gestalt und Anziehungsrichtung nothwendig zwischen sich lassen müssen.

(68.) In der That, wäre in der Scheidewand, die sich zwischen einer Lösung des β Leims und der Gerbsäure bildet, auch nur eine Lücke, die grösser wäre, als ein Leim- oder Gerbsäure-Molecül, so wäre an dieser Stelle die Wirkung dieser Stoffe nicht mehr gehemmt und es müsste sich die Lücke durch Neubildung von Molecülen gerbsauren Leims sofort verstopfen.

(69.) Die Bildung einer Membran bei Berührung zweier sich fällender Colloïde beruht eben darauf (und eine grosse Anzahl weiterhin mitzutheilender Versuche findet nur durch diese, mit zwingender Nothwendigkeit aus der Atomtheorie resultirende Annahme ihre Erklärung), dass die Molecüle der sich bildenden unlöslichen Substanzschicht bei ungestörter Lagerung überall so nahe zusammentreten, dass die zwischen ihnen noch befindlichen Lücken (Molecularinterstitien) kleiner sind, als die Molecüle der beiden Colloïde.

(70.) Trotz der Dichte und Homogenität, die die Membran von gerbsaurem Leim besitzt, gestattet sie, wie wir gesehen haben, eine viel raschere Endosmose, als bisher an anderen Membranen beobachtet wurde. In wenigen Minuten sehen wir das Volum des von ihr eingeschlossenen Leimtropfens sich vervielfachen und die ganze Erscheinung sich zu einem Vorlesungsversuch gestalten. Dies rührt davon her, dass die durch chemische Fällung erzeugten Membranen nicht nur dichter, sondern auch weit dünner sind, als alle bisher experimentell angewandten.

(71.) Der Theorie nach dürfte sogar in dem Falle, dass sich die Lösungen zweier sich fällenden Colloide berühren, nur die die Grenze bildende Atomschicht erhärten, da schon diese als colloide Scheidewand sofort die weitere Aufeinanderwirkung beider Lösungen hemmen müsste. Wir haben aber (50.) gesehen, welchen wesentlichen Einfluss die Intensität des endosmotischen Stroms auf die Dicke der gerinnenden Schicht ausübt.

(72.) Bei sehr energischer Wirkung der anziehenden Kraft, welche die Wassertheilchen durch die Membran hindurch in's Innere der Zelle hineinsaugt, entsteht wahrscheinlich eine so intensive Strömung, dass durch den Druck derselben die Interstitien der Membran beträchtlich erweitert werden und in Folge davon die sonst nicht diffusiblen Moleküle der Gerbsäure durchdringen, um, sofort zu gerbsaurem Leim coagulirend, die Membran zu verdicken.

Dies muss so lange dauern, bis ein Gleichgewichtszustand eingetreten, bis die Verdickung selbst durch vergrößerten Widerstand die weitere Wirkung der endosmotischen Strömung aufhebt.

(73.) Wir werden weiterhin sehen, dass sich durch chemische Fällung viele Membranen aus den verschiedensten Stoffen erzeugen lassen. Ich nenne diese feinen Substanzschichten „Niederschlagmembranen“ (*membranae praecipitatae*), und die Körper, aus deren Vereinigung sie hervorgehen, „Membranbildner“ oder „Membranogene“.

Ich nenne ferner den Körper, der den Inhalt einer geschlossenen Niederschlagmembran, einer Zelle, bildet, den „inneren“, den in der umgebenden Flüssigkeit gelösten den „äusseren Membranbildner“.

(74.) Im Zelleninhalt aufgelöste Stoffe üben häufig einen auffallenden Einfluss auf die physikalische Beschaffenheit der Membran aus.

Versuch. Wurden dem β Leim geringe Spuren von essigsaurem Bleioxyd beigefügt, so erhielt man selbst in concentrir-

ter, 6procentiger Gerbsäure (in welcher reiner β Leim ganz schlaffe Zellen gab (s. 33.), sehr prall gespannte, selbst bei sehr bedeutender Grösse ganz kugelfunde Zellen von offenbar sehr grosser Tragkraft und Festigkeit der Membran. Die Zelle behielt ihre Gestalt und Spannung bis zu Ende des Versuchs und sank nicht, wie in den Versuchen mit reinem β Leim zu Boden, sondern stieg zuletzt in die Höhe, da der Inhalt durch endosmotische Verdünnung specifisch leichter wurde, als die umgebende Gerbsäure.

(75.) Versuch. Einen gleichen Einfluss auf die Beschaffenheit der Membran und die Spannung der Zelle übte schwefelsaures Kupferoxyd und Brechweinstein, auch nur in höchst geringen Mengen dem β Leim zugefügt.

(76.) Diese Erscheinung ist besonders auffallend bei schwefelsaurem Kupferoxyd, das weder mit β Leim, noch mit Gerbsäure eine Fällung giebt; erklärlicher beim Bleizucker und Brechweinstein, die mit Gerbsäure unlösliche Verbindungen eingehen und durch Zwischenschiebung anderer Molecüle die Cohäsion der Membran verändern und verstärken können.

(77.) Versuch. Eine Mischung von β Leim mit einer ungefähr gleichen Menge Kochsalz oder Traubenzucker oder Gummi arabicum gab in 1,6—3proc. Gerbsäure in den meisten Fällen Membranen, die im prächtigsten Roth, Grün und Orange irisirten und durch ihr blendendes Farbenspiel die schönsten Seifenblasen übertrafen. Es sind vielleicht die feinsten Substanzschichten, die man darzustellen vermag.

Ich habe noch nicht Zeit gefunden, den Umstand aufzuklären, weshalb das Irisiren unter scheinbar gleichen Umständen bei Zusatz obiger Substanzen nicht immer mit demselben Glanz eintritt und bedaure dies um so mehr, als diese Experimente sich zu Vorlesungsversuchen eignen würden, die in eleganter Weise die ungemeine Feinheit zur Anschauung bringen, die Niederschlagmembranen erreichen können.

5. Intussusception.

(78.) Die Bildung einer Niederschlagmembran beruht darauf, dass ihre Molecularinterstitien kleiner sind, als die Mole-

cüle der Membranbildner selbst (s. 69.). Sobald aber durch den Druck des sich endosmotisch vergrößernden Zelleninhalts die Molecüle der Membran so weit von einander entfernt werden, dass ihre Interstitien die Molecüle der Membranbildner durchlassen, so müssen diese offenbar sofort von Neuem in Wechselwirkung treten und eine Neubildung von Membranmolecülen veranlassen, die sich zwischen die bereits vorhandenen einlagern.

Es ist dies der von den Physiologen mit Intussusception bezeichnete, bisher so räthselhafte Wachsthumprocess der Zellmembranen, der durch unsere Versuche eine eben so einfache, als vollständige physikalische Erklärung findet.

(79.) Da hiernach die endosmotische Ausdehnung der Intussusception immer vorangeht und sie bedingt, so müsste das Wachsthum der Membran mit der Vergrößerung des Zelleninhalts genau gleichen Schritt halten; sie müsste immer prall gespannt sein. Dennoch haben wir beobachtet, dass die Leimzellen sich häufig auch zu schlaffen Säcken ohne jede Spannung entwickeln (32. 33.). Es muss demnach unter gewissen Umständen noch eine andere Ursache thätig sein, die, unabhängig von dem Druck des Inhalts auf die Membran, ein Wachsthum derselben veranlasst.

(80.) In der That trägt bei sehr dünnwandigen Leimzellen auch das Gewicht der an dem Glasstab hängenden Zelle selbst zur Dehnung der Membran bei und verursacht Intussusception vorzugsweise in demjenigen Theil derselben, der an dem Glasstab ansitzt und die ganze Last der Zelle zu tragen hat. Daraus erklärt sich, dass gerade dieser Theil sich bald zu einem langen Hals verlängert, an dem sich die Zelle zu Boden senkt (13. 32. 33.).

(81.) Ist die Membran dicker, so dass eine grössere Kraft zu ihrer Dehnung erforderlich ist, so tritt der Einfluss des Gewichts der Zelle auf die Intussusception zurück. Diese erfolgt dann hauptsächlich nur in Folge des von innen nach aussen wirkenden Drucks, den die endosmotische Anschwellung des Inhalts

auf die Membran ausübt, und die Zelle nimmt eine nahezu kuglige oder ellipsoide, faltenlose Gestalt an.

(82.) Der letzte Grund für die Bildung gespannter Zellen liegt hiernach darin, dass das Wachsthum der Membran (die Intussusception) hauptsächlich oder ausschliesslich durch die endosmotische Ausdehnung des Zelleninhalts verursacht wird.

(83.) Man könnte behaupten, dass die Membran künstlicher Zellen nicht durch Intussusception, durch Neubildung gleichartiger Molecüle, sondern durch passive Dehnung wachse. Obgleich eine derartige Annahme schon deshalb wenig Wahrscheinlichkeit für sich hat, weil die Niederschlagmembranen viel zu dünn sind, um einer beträchtlichen passiven Ausdehnung fähig zu sein, wurden dennoch einige Versuche zur directen Widerlegung gemacht, in denen man die Möglichkeit der Intussusception ausschloss, ohne die endosmotische Ausdehnung des Zelleninhalts zu hindern.

(84.) Versuch. Es gelingt mitunter, Leimzellen, namentlich sehr kleine, ohne Beschädigung am Glasstab aus der Gerbsäure herauszuheben und in destillirtes Wasser zu versetzen. Da sie aber bei diesem Verfahren gewöhnlich platzen, wurde der Versuch in der Weise eingerichtet, dass man die Leimzelle in dem Gefässe, in dem sie sich gebildet hatte, liess, aber durch eine angemessene Vorrichtung die Gerbsäure durch destillirtes Wasser verdrängte.

Zu diesem Behufe liess man die Bildung der Zelle in einem Fläschchen vor sich gehen, das durch einen dreifach durchbohrten, luftdicht aufsitzenden Kork geschlossen war. In der mittleren Bohrung befand sich der Glasstab, an dessen unterem Ende das in die Gerbsäure tauchende Stückchen β Leim haftete. Durch die zweite Bohrung ging der Schenkel eines zum Heber gebogenen Glasrohrs bis auf den Boden des Fläschchens. Der nach aussen mündende Schenkel des Hebers war durch einen Quetschhahn geschlossen. Durch die dritte Bohrung reichte ein mit destillirtem Wasser gefüllter Glastrichter mit langem Rohr bis hart an das Niveau der Gerbsäurelösung.

(85.) Nachdem sich eine länglich runde Leimzelle von ca. 8 Mm. Länge und 6 Mm. Breite in der Gerbsäure gebildet hatte, wurde der Quetschhahn des Hebers vorsichtig geöffnet und, indem durch den Druck der Wassersäule im Glastrichter die Gerbsäure herausgetrieben wurde, drang in demselben Maasse Wasser aus dem Trichter nach. Nur eine ganz dünne scharf begrenzte Schicht von Gerbsäure blieb auf dem Boden des Fläschchens zurück, die auf den Versuch ohne Einfluss blieb, da die Leimzelle nur von dem darüber stehenden reinen Wasser umgeben war.

(86.) Sobald das Niveau der herausströmenden Gerbsäure bis unterhalb der Leimzelle gesunken war, drang durch die Membran derselben sofort Leimlösung heraus, die mit einem Reste noch anhängender Säure Anfangs in Form nebliger Streifen von gerbsaurem Leim, dann aber als klarer, durchsichtiger, nur durch verschiedene Lichtbrechung kenntlicher Streifen auf den Boden des Fläschchens hinabsank, wo er mit der zurückgebliebenen Schicht Gerbsäure einen reichlichen flockigen Niederschlag bildete. Dieses Durchströmen von Leim hörte erst nach einigen Stunden auf.

(87.) Die Zelle selbst hörte, sobald sie nicht mehr von Gerbsäure umgeben war, sofort zu wachsen auf, indem sie ihre Gestalt genau beibehielt und war hierbei so prall gespannt, dass sie bei sanftem Hin- und Herneigen des Fläschchens ihre Lage nicht änderte.

(88.) Dieser mehrfach wiederholte Versuch beweist, dass, sobald die Neubildung von Membranmoleculen durch Entfernung des äusseren Membranbildners gehemmt wird, das Wachsthum, die Flächenausbreitung der Membran aufhört, obgleich die endosmotische Anschwellung des Zelleninhaltes fort dauert. In diesem Falle werden durch den endosmotischen Druck nur die Interstitien der Membran erweitert, so dass die Moleculen des inneren Membranbildners ungehindert durchtreten können.

(89.) Durch diesen Vorgang dürfte gleichzeitig erwiesen sein, dass, wenn colloïde Membranen impermeabel sind für colloïde Stoffe, die Ursache dieser Erscheinung nicht etwa in einer abstossenden Kraft der Membranmoleculen, sondern nur darin zu

suchen ist, dass eben die Interstitien der Membran kleiner sind, als die Molecüle der Membranbildner. Sobald jene durch Druck sich erweitern, hört die Impermeabilität auf.

(90.) Versuch. Ersetzt man bei Anstellung des eben mitgetheilten Versuchs die Gerbsäure durch Wasser erst dann, wenn die Leimzellen nach Eintritt in's dritte Stadium ihre Spannung zu verlieren und in Form faltiger Säckchen vom Glasstab herabzusinken beginnen (43.), oder nimmt man sofort schlaffe Zellen zum Versuch, wie sie in concentrirter Gerbsäure entstehen (32. 33.), so hören sie sofort auf, herabzusinken, sobald die Gerbsäure durch Wasser ersetzt wird; sie fangen an, durch Endosmose zu schwellen, um endlich prall gespannte Bläschen zu bilden, aus denen zuletzt Leimlösung herausdringt.

(91.) Dieses überraschende Experiment giebt uns neuen Aufschluss über den Vorgang der Intussusception. Man sollte glauben, die schlaffen Zellen sinken in der Gerbsäure deshalb zu Boden (43. 51.), weil die geringe Cohäsion der Molecüle (wenn die Membran sehr dünn) die Last der Zelle nicht zu tragen vermöge. Dennoch sehen wir, wenn die Gerbsäure durch Wasser entfernt wird, die Zelle im Herabsinken gehemmt und zu praller Spannung gelangen, die auf grosse Widerstandsfähigkeit der Membran schliessen lässt.

(92.) Diese einander scheinbar widersprechenden Thatsachen führen zu dem Schluss, dass die Membran an sich, selbst wenn sie noch so fein und irisirend ist, Festigkeit genug besitzt, um das Gewicht der Zelle zu tragen, dass aber schon eine sehr geringe Dehnung der Membran, die ihren Elasticitätscoefficienten nicht übersteigt, ja wahrscheinlich noch lange nicht erreicht, dennoch schon genügt, den Process der Intussusception einzuleiten.

(93.) Die Molecularinterstitien des gerbsauren β Leims sind, wie es scheint, nur um ein sehr Geringes kleiner, als die Molecüle seiner Membranbildner, die deshalb schon bei geringer Dehnung der Membran in Wechselwirkung treten.

(94.) Diese Deutung stimmt überraschend mit anderen, späterhin mitzutheilenden Thatsachen überein, die auf eine an-

sehnliche Grösse der Interstitien des β Leims schliessen lassen (199.). Ich wiederhole hier (51.), dass von allen untersuchten Niederschlagmembranen nur der gerbsaure Leim die Eigenthümlichkeit besitzt, auch schlaffe Zellen zu bilden.

6. Formbildung der Zellen.

(95.) Da bei gespannten Zellen der Druck des Inhalts auf die Membran deren Dehnung und Wachsthum bewirkt (82.), so muss, da dieser Druck gleichmässig nach allen Richtungen wirkt, die Zelle — wenn nicht andere Bedingungen mitbestimmend eingreifen — ebenso, wie eine Seifenblase Kugelform annehmen.

Nur, wenn das Gewicht der Zelle sehr gross ist, wird sie durch Verlängerung der senkrechten Axe mehr oder weniger ellipsoid erscheinen.

(96.) Im Verlaufe des Wachsthums aber treten Umstände ein, die eine wesentliche Veränderung der regelmässigen Form verursachen. Im zweiten Stadium, sobald der Leimkern, der bis dahin den Zelleninhalt in gleichbleibender Concentration erhalten hat, gelöst ist (41.), sammeln sich die durch weitere Endosmose verdünnten, specifisch leichteren Leimtheilchen im oberen Zellenraum an (17.). Da sich aber mit der abnehmenden Differenz in der Concentration der inneren und äusseren Lösung eine dünnere Membran bildet (48. 50.)¹⁾, so muss durch den Druck des endosmotisch anschwellenden Zelleninhalts auf die Wandung deren oberer Theil mehr gedehnt werden, als der untere, und es bilden sich jene aufwärts gerichteten Wülste, die das zweite Entwicklungsstadium charakterisiren (42.).

(97.) Diese Erscheinung, die nicht blos an Leimzellen, sondern, wie wir weiterhin sehen werden, auch an anderen künstlichen Zellen beobachtet wird (146.), beweist, dass im Verlauf des Wachsthums der Ort der Intussusception nicht mit dem der Endosmose zusammenfallen muss. Die lebhafteste Ein-

1) In der That beginnt die Membran gespannter Zellen mit dem Eintritt des zweiten Stadiums im oberen Zellenraum zuerst zu irisiren (42.).

dosmose geht durch die untere Wand der Zelle, da, wo die concentrirteste Flüssigkeitsschicht (17.) liegt, während das intensivste Wachstum an der dünneren oberen Wandung stattfindet, die dem Druck des Zelleninhalts den kleinsten Widerstand entgegensetzt.

(98.) Diese in letzter Instanz nur auf den Einfluss der Schwerkraft zurückzuführende Erscheinung wird sich höchst wahrscheinlich auch in solchen organischen Zellen geltend machen, die keine Contractilität besitzen und sich ohne wesentliche Erschütterung und Ortsveränderung entwickeln, so dass die nur bei völliger Ruhe mögliche Scheidung des Zelleninhalts in eine untere concentrirte und eine obere verdünnte Schicht eintreten kann.

(99.) Diese Bedingung findet sich in den meisten Fällen während des Wachsthum der Pflanze erfüllt und vielleicht kann die eben erörterte Erscheinung in irgend einer Weise als Schlüssel dienen zur Erklärung des Einflusses, den die Schwerkraft auf die Aufwärtsrichtung des Pflanzenstengels und die Abwärtsrichtung der Wurzeln selbst einzelliger Pflanzen erwiesenermassen ausübt.

(100.) Ausser der Schwerkraft scheint auch das Licht einen auffallenden Einfluss auf das Wachsthum der künstlichen Zellen auszuüben. Bei grösseren (zu ihrer vollen Entwicklung längere Zeit bedürfenden) gespannten Leimzellen (auch bei anderen künstlichen Zellen, s. unten 129. 145.) zeigte im ersten Stadium des Wachsthum die dem Lichte zugekehrte Seite¹⁾ fast jedes Mal eine in die Augen fallende, die regelmässige Form der Zelle störende Ausbuchtung. Niemals wurde ein derartiger Wulst nach der Schattenseite hin beobachtet. Eingehendere Versuche über diesen Einfluss des Lichts (der strahlenden Wärme) habe ich nicht gemacht.

1) Die Versuche wurden der genaueren Beobachtung wegen fast immer auf der Brüstung der nach Norden sehenden, also nicht einmal dem directen Sonnenlicht zugänglichen Fenster angestellt.

(101.) Auch die physikalische Beschaffenheit der Membran selbst zeigte sich von auffallendem Einfluss auf die Formbildung der Zelle. Wurde die Membran von gerbsaurem Leim mit schwefelsaurem Baryt infiltrirt, so erlangte die Zelle eine ganz unregelmässige, wellig-gekräuselte Gestalt (s. u. 203.)

(102.) Zellen, deren Membran aus Ferrocyankupfer, gerbsaurem Bleioxyd u. s. w. bestand, bedeckten sich mit zahlreichen hohlen Stacheln (s. u. 128. 145.).

(103.) Diese überraschenden Erscheinungen dürften sich dadurch erklären, dass, wenn die Membranmolecüle keine regelmässige Form haben, auch die Interstitien zwischen ihnen, obwohl regelmässig geordnet, dennoch von verschiedener Grösse und nicht congruent sind. Ist eine solche Membran endosmotischem Druck ausgesetzt, so werden ihre grössten Interstitien auch zuerst sich so weit vergrössern, dass hier ein neues membranogenes Molecül eintreten und zu einem Membranmolecül erhärten kann. Das Wachsthum der Membran kann dann nicht mehr in allen Punkten gleichmässig stattfinden und muss zur Bildung einer unregelmässig geformten Zelle Veranlassung geben.

(104.) Dasselbe muss geschehen, wenn die Intensität der Anziehung der Membranmolecüle zu einander nach verschiedenen Richtungen hin wesentlich verschieden ist.

(105.) So greifen die unscheinbarsten Bedingungen in die Gestaltung der künstlichen Zellen wirksam ein und machen uns den erstaunlichen Formenreichtum der organischen Zellen begreiflich.

7. Endosmose und Wachsthum.

(106.) Das Wachsthum der Zelle beruht in letzter Instanz auf zwei zusammenwirkenden Ursachen,

1) auf einer Vergrösserung des Zelleninhalts durch endosmotische Einsaugung von Wasser aus der äusseren Lösung durch die Membran hindurch,

2) auf der diesem Process nachfolgenden Flächenausbreitung der Membran durch Intussusception.

(107.) Eine Zelle muss demnach aufhören zu wachsen, sobald

1) der Zelleninhalt der umgebenden äusseren Lösung kein Wasser mehr zu entziehen vermag und das Gleichgewicht in der Concentration der inneren und äusseren Lösung hergestellt ist. (In der That haben wir gesehen, dass die Leimzellen, nachdem sie das vierte Stadium zurückgelegt haben, keine weitere Veränderung mehr in Form und Grösse erleiden (44.), und dass sie, wenn das Gleichgewicht in der Concentration zwischen innerer und äusserer Flüssigkeit schon früher eintritt, im dritten Entwicklungsstadium stehen bleiben (46.).

(108.) 2) wenn die Lösung des einen Membranbildners erschöpft ist, oder, wenn der äussere Membranbildner durch eine andere indifferente Flüssigkeit ersetzt wird (87. 88.).

(109.) Je grösser die Anziehung des im Zelleninhalt gelösten Körpers zum Wasser ist — wir bezeichnen diese Anziehung mit „endosmotischer Kraft“ — eines desto stärkeren Wachstums ist die Zelle fähig.

(110.) Das Wachsthum der Zelle kann durch Zusatz anderer, für die Membranbildung indifferenter Stoffe wesentlich verstärkt werden.

Versuch. Zusatz von Traubenzucker vermehrt und beschleunigt das endosmotische Wachsthum der β Leimzellen in höchst auffallender Weise. Kleine Tröpfchen einer Mischung beider Substanzen schwollen in 1,8 proc. Gerbsäurelösung in 4—6 Stunden — eine höhere Lufttemperatur übt, ebenso wie bei dem Wachsthum organischer Zellen, auch hier eine auffallend beschleunigende Wirkung — zu grossen kugligen Zellen von ca. 25 Mm. Durchmesser an, die dadurch, dass ihr Inhalt endlich specifisch leichter wurde, als die umgebende Gerbsäurelösung, in derselben zuletzt aufstiegen.

(111.) Versuch. Selbst bei Zusatz von 14 Th. Traubenzucker auf 1 Th. β Leim erfolgte in Gerbsäure noch Membran- und Zellenbildung; bei noch grösserem Zusatz von Traubenzucker nicht mehr.

(112.) Man ersieht hieraus, dass das Wachsthum der Zelle nicht nothwendig von dem Membranbildner abhängig ist, der

in der organischen Zelle vielleicht nur dazu dient, das Material für die Membran zu liefern.

(113.) Versuch. Kochsalz, selbst in sehr erheblicher Menge dem β Leim zugefügt, bewirkt keine auffallende Vermehrung der Endosmose. Da es mit Leichtigkeit durch eine Membran von gerbsaurem Leim hindurchgeht, so wird durch seine Anziehung zum Wasser nicht blos ein Einsaugen dieser Flüssigkeit in's Innere der Zelle, sondern auch sein eigenes Ueberreten in die äussere Lösung bewirkt, was sehr bald Gleichgewicht in der Concentration beider Lösungen und Aufhören der endosmotischen Strömung zur Folge hat.

(114.) Um einen wesentlichen Einfluss auf das Wachsthum der Zelle auszuüben, muss demnach ein Körper mit grosser Affinität zum Wasser auch noch die Eigenschaft verbinden, wenig oder gar nicht diffusibel zu sein.

Wir kommen späterhin ausführlicher auf diesen Gegenstand zurück (228.—231.).

8. Ueber die Undurchdringlichkeit einer Niederschlagmembran für ihre Membranogene.

(115.) Es wurde erwähnt (41.), dass sich der Inhalt der β Leimzellen im Beginn des zweiten Entwicklungsstadiums, wenn er nach Lösung des Leimkerns sich zu verdünnen anfängt, durch Ausscheidung von gerbsaurem Leim von oben herab trübt und dass diese Trübung während des zweiten und dritten Stadiums zunimmt (43. 44.). Gelangte die Gerbsäure durch Diffusion, d. h. zwischen den Molecülen der Membran hindurch in das Innere der Zelle, so würde diese Thatsache genügen, die ganze Theorie von der Bildung der Niederschlagmembranen (69. 78.) über den Haufen zu werfen. Ein Niederschlag soll ja eben nur dann Membranform annehmen können, wenn die Lücken zwischen den Molecülen kleiner sind, als die Molecüle seiner Componenten.

(116.) In der That geht aus einer Reihe von Thatsachen hervor, dass die Gerbsäure nicht durch Diffusion, sondern da-

durch in die Zelle gelangt, dass der β Leim des Zelleninhalts lösend auf die Membran wirkt. Der Stoff, aus dem die Membran besteht, der gerbsaure Leim, ist, wie wir wissen (25.), im Ueberschuss von concentrirtem Leim löslich und wird aus dieser Lösung durch Wasser gefällt.

(117.) Zunächst war nachzuweisen, dass der Zelleninhalt schon im ersten Stadium, wo er noch ganz klar und concentrirt ist, bereits Gerbsäure enthält.

Versuch. Das Fläschchen, in welchem sich 113 Cc. einer 1,8proc. Gerbsäure befanden, war durch einen doppelt durchbohrten Kork geschlossen. Durch die eine Bohrung ging bis nahe auf den Boden des Fläschchens der eine Schenkel einer heberförmigen Glasröhre, dessen Ende durch eine reichliche Masse β Leim geschlossen war. Durch die andere Bohrung reichte bis an das Niveau der Gerbsäurelösung ein Glasrohr, dessen oberes Ende durch einen mit Quetschhahn versehenen Kautschukschlauch mit einem Wasserbehälter in Verbindung stand.

Zwölf Stunden nach Beginn des Versuchs hatte sich eine sehr grosse, mit klarem Inhalt gefüllte, auf dem Boden des Fläschchens lagernde Zelle gebildet, die in das Ende des heberförmigen Rohrs offen hineinmündete. Als man nun den Quetschhahn des zum Wasserbehälter führenden Kautschukrohrs vorsichtig öffnete, wurde durch den Druck der Wassersäule die Zelle zusammengepresst und deren Inhalt durch das Heberrohr hindurch in ein untergehaltenes Gefäss getrieben. Der so zur Untersuchung gewonnene klare Inhalt der Zelle gab durch tief-schwarze Färbung mit schwefelsaurem Eisenoxyd einen reichlichen Gehalt von Gerbsäure zu erkennen.

(118.) Die Trübung des Inhalts der Leimzelle im zweiten Stadium entsteht also durch die in Folge der Verdünnung eintretende Fällung bereits darin gelösten Leims.

Wäre die Gerbsäure durch Endosmose hineingelangt, so musste sie sofort beim Eintritt in die Zelle an der Innenfläche der Membran gerinnen und zu deren Verdickung beitragen, während, wie wir gesehen haben, die Membran bei eintretender

Trübung des Inhalts gerade erst zu irisiren anfängt (42.) und im weiteren Wachsthum bei zunehmender Trübung des Inhalts immer dünner wird (43.).

(119.) Endlich enthält, wie wir weiterhin bei künstlichen, aus anderen Materialien dargestellten Zellen sehen werden, der Inhalt der Zelle nur dann grössere oder geringere Mengen des äusseren Membranbildners, wenn er nachweisbar lösend auf die Membran wirkt (122. 132.). Fehlt ihm diese Eigenschaft, so dringt keine Spur des äusseren Membranbildners in die Zelle hinein, wie auch umgekehrt selbst nach mehreren Wochen keine Spur von β Leim durch die Membran in die äussere verdünnte Gerbsäure dringt, weil die verdünnte Säure auf die Membran nicht lösend wirkt (24.).

(120.) Die Niederschlagmembranen sind, so lange sie von beiden Membranogenen umgeben sind, für diese vollkommen impermeabel. Erst dann, wenn der äussere Membranbildner durch eine andere indifferente Flüssigkeit ersetzt wird, hört diese Impermeabilität auf (86.—89.).

9. Ueber die Bildung von Zellen und Niederschlagmembranen aus einem Colloïd und einem Krystalloïd und aus zwei Krystalloïden.

(121.) In der ersten meiner vorläufigen Mittheilungen über vorliegenden Gegenstand¹⁾ war ich zu der Schlussfolgerung gelangt, dass „Zellenbildung und Wachsthum in den Organismen das Resultat der Aufeinanderwirkung zweier einander fällender colloïder Stoffe“ sei. Diese Folgerung stand, wie eine weitere Erwägung ergab, in Widerspruch mit dem in meiner Arbeit „Ueber die Respiration der Pflanzen“²⁾ erlangten Ergebniss, dass die „Cellulose (die Membran der Pflanzenzellen) das Product der Oxydation eines löslichen Kohlehydrats durch den

1) Centralbl. f. med. Wissenschaften. 1865. Nr. 7.

2) Monatsbericht d. Königl. Akad. d. Wissenschaften zu Berlin. 1859. S. 84—94.

Sauerstoff der Luft“ sei; denn man konnte den Sauerstoff unmöglich den colloïden Stoffen zuzählen.

Dieser Widerspruch brachte mich auf die Vermuthung, dass Membranen auch zwischen nicht colloïden Stoffen müssten entstehen können — eine Vermuthung, die sich vollkommen bestätigte.

(122.) Gerbsäure (ein Colloïd) bildet mit neutralem und basisch essigsaurem Bleioxyd (krystallisirbaren Stoffen) in Wasser unlösliche, amorphe Niederschläge.

Concentrirte Gerbsäure nimmt Etwas von diesen Niederschlägen auf und scheidet sie bei Verdünnung wieder ab, indem sie sich trübt.

(123.) Versuch. Brachte man einen am Glasstab hängenden Tropfen zur höchsten Concentration abgedampfter, an der Luft bald erhärtender Gerbsäure in eine 2,5proc. Lösung¹⁾ von Bleizucker (bei geringerem Procentgehalt entstand keine Membran), so hob sich nach wenigen Minuten eine prall gespannte blau irisirende Membran von allen Seiten des Tropfens ab, die aber bald platzte.

(124.) In 3,6proc. Bleizuckerlösung trat zwar Anfangs Membranbildung ein, aber kein Wachsthum der Zelle, weil eine nur 3,6 Proc. Bleizucker enthaltende Lösung eine eben so grosse oder noch grössere endosmotische Kraft besitzt, wie fast trockene Gerbsäure (230.).

(125.) Die Zellenbildung aus Gerbsäure in Bleizuckerlösung war demnach schwierig. Nahm man ganz verdünnte Bleilösung (123.), so war die Membran zu fest und spröde, nahm man sie concentrirter (124.), so blieb das Wachsthum aus. Man suchte deshalb die endosmotische Kraft des Zelleninhalts durch Zusatz von Traubenzucker zu verstärken (110.).

(126.) Versuch. Ein Tropfen einer ganz eingedickten Mischung von 1 Th. Gerbsäure und 0,27 Th. Traubenzucker dehnte sich selbst in einer 7,5proc. Bleizuckerlösung zu einer prall gespannten Zelle mit blau und goldgelb irisirender Mem-

¹⁾ 100 Cc. der Lösung enthielten 2,5 Proc. krystallisirten Bleizucker.

bran aus, deren Inhalt sich jedoch schon nach 18 Minuten von oben herab zu trüben begann (durch Ausscheidung von gerbsaurem Bleioxyd, das nicht durch directe Endosmose, sondern durch lösende Wirkung der Gerbsäure (122.) auf die Membran in die Zelle gelangte (s. sub 132.).

(127.) Derselbe Erfolg, jedoch mit stärkerem Wachsthum, trat ein, wenn die in die Bleizuckerlösung getauchte Mischung auf 1 Th. Gerbsäure 0,6 Th. Traubenzucker enthielt.

(128.) Bemerkenswerth war, dass das Wachsthum der Zelle nicht continuirlich, sondern ruckweise vor sich ging, indem die Membran an verschiedenen Stellen kantig hervorgestossen wurde, so dass sie zuletzt ein ganz zerknittertes Aussehen, stellenweise auch hohle stachlige Auswüchse erhielt.

(129.) Am Meisten waren die Zellen nach der Lichtseite zu gewachsen mit einem grossen dahin gerichteten Wulst (100.).

(130.) Wurde der Gerbsäure noch mehr Traubenzucker zugesetzt, so war ein ruhiges Wachsthum der Zelle unmöglich. Es erfolgten ruckweise Eruptionen (58.) in der Membran, die zu langen Auswüchsen erstarrten und nach kurzer Zeit ein völliges Zerreißen der Zelle.

(131.) Alle diese Erscheinungen deuten auf eine ungemeine Festigkeit der Membran, wie denn auch in der That die Zellen so straff gespannt waren, dass sie bei Neigung des Gefässes trotz der Dünne der Membran ihre schwebende Lage am Glasstab nicht änderten.

(132.) Versuch. Rührte die nach kurzer Zeit eintretende Trübung des Zelleninhalts von oben herab (126.) auch hier nicht von einem directen Eindringen des äusseren Membranbildners, sondern davon her, dass die concentrirte Gerbsäure gerbsaures Bleioxyd aus der Membran aufgelöst hatte und dann bei endosmotischer Verdünnung wieder abschied, so durfte eine solche Trübung nicht eintreten, wenn man das Experiment in der Weise anstellte, dass der Gerbsäure im Verlauf des Versuchs Wasser entzogen wurde.

Zu diesem Zweck wurde in ein aufrechtes, unten geschlossenes kurzes Glasröhrchen (von ca. 10 Mm. Durchmesser) zuerst eine Schicht 30proc. Gerbsäurelösung gegossen und darauf

eine 6,6proc. Bleizuckerlösung vorsichtig aufgeschichtet. Es bildete sich an der Berührungsgrenze eine klare Membran, unterhalb welcher die Gerbsäure auch nach 20 Tagen noch klar und nach beträchtlichem Wasserverlust zu einem dickflüssigen Syrup zusammengeschrumpft war.

(133.) Aus diesem Versuch geht in Uebereinstimmung mit einer früheren Erfahrung (124.) gleichzeitig hervor, dass eine Lösung, die nur 6,6 Proc. krystallisirten (also schon wasserhaltigen) Bleizucker enthält, eine grössere endosmotische Kraft besitzt, als eine Lösung von 30 Proc. lufttrockener Gerbsäure.

(134.) Lösungen von essigsauerm oder basisch essigsauerm Bleioxyd geben auch mit verdünnter Gerbsäure Membranen, die bald klar, bald trübe sind.¹⁾ Um klare Membranen zu erhalten, musste man die Bleilösungen mehr verdünnen, als die der Gerbsäure. Erhielt man z. B. in einem Versuch bei einem gewissen Grade der Verdünnung beider Lösungen eine klare Membran, so erhielt man in einem zweiten Versuch eine trübe Membran, wenn man die Gerbsäure verdünnte, die Bleilösung aber nicht.

(135.) So z. B. gab Bleiessig von 1,225 spec. Gew. mit 15proc. Gerbsäure eine trübe Membran. Wurde aber auch der Bleiessig verdünnt, so entstand auch in 11proc. Gerbsäure eine klare Membran.

(136.) Die Trübung beruhte offenbar auf einer durch grös-

1) Derartige Versuche mit zwei verdünnten Lösungen wurden mit Hilfe von Glasröhrchen angestellt, die an dem einen Ende offen, an dem anderen durch ein längeres Kautschukröhrchen mit Quetschhahn geschlossen waren. Presse man den Kautschukschlauch zusammen und tauchte das offene Ende in die Lösung des einen Membranbildners, so wurde, wenn der Druck auf das Kautschukrohr nachliess, so viel von der Flüssigkeit in das Glasröhrchen gehoben, als man zum Versuch brauchte. Hierauf wurde die Aussenfläche des Glasröhrchens abgetrocknet und in die Lösung des zweiten Membranbildners getaucht, wodurch sich sofort eine die Mündung des Röhrchens abschliessende Membran bildete. Der Verschluss des Kautschukschlauchs durch einen Quetschhahn ist nicht durchaus erforderlich, aber für viele Fälle sehr zweckmässig (182).

sere Intensität des endosmotischen Stroms verursachten Verdickung der Membran (50.). Die zur Herstellung einer klaren, nicht verdickten Membran nothwendige Abdämpfung des endosmotischen Stroms trat aber nur dann ein, wenn die Bleilösung verhältnissmässig viel verdünnter war, als die Gerbsäure, da die letztere eine viel geringere endosmotische Kraft besitzt (124. 133.).

(137.) Gerbsäure bildet Membranen auch mit dem krystalisirbaren essigsäuren Kupferoxyd, die eine noch grössere Festigkeit, als die Membran von gerbsäurem Bleioxyd, besitzt und dem Druck des endosmotisch anschwellenden Zelleninhalts einen solchen Widerstand entgegensetzt, dass das Wachsthum jedesmal eine Eruption und Zerreissung der Zelle herbeiführt.

(138.) Kieselsaures Kali (käufliches „Wasserglas“) gab unverdünnt oder nach Mischung mit dem fünffachen Volum Wasser Membranen mit 20proc. Bleizucker oder mit 7,7proc. essigsaurer Kupferoxyd-, oder mit 10proc. Zinnchlorürlösung.

(139.) Auch Lösungen zweier Krystalloide, selbst solcher, die sich durch grosse Krystallisationsfähigkeit auszeichnen, sind im Stande Membranen zu bilden.

(140.) Brachte man, in einem Röhrchen mit Quetschhahn enthaltene, Tropfen einer 10proc. Ferrocyankalium- (Blutlaugensalz-) Lösung in eine 1,6proc. essigsäure Kupferoxyd-Solution, so bildete sich sofort eine sehr schöne klare, fast farblose Membran von Ferrocyankupfer (das, als amorpher Niederschlag, bekanntlich eine tief rothbraune Farbe zeigt).

(141.) Man machte Versuche mit Lösungen verschiedener Concentration und erhielt immer klare, kaum gefärbte Membranen, wenn der Procentgehalt der Blutlaugensalzlösung von 2,3 bis 10, und der essigsäuren Kupferoxyd-Lösung von 1,6 bis 7,7 Proc. schwankte. Liess man aber eine kaltgesättigte (ca. 25proc.) Lösung von Ferrocyankalium auf eine 1,6proc. Kupferlösung wirken, so erhielt man eine stark verdickte, tiefrothbraune Haut, ebenso wenn man andererseits sehr verdünnte essigsäure Kupferlösung nahm, die bei nur 0,6proc. Gehalt mit 2,3 oder 10proc. Blutlaugensalzlösung stark rothe, verdickte

Häute gab. Es machte sich auch hier die schon mehrfach (50. 136.) besprochene Einwirkung eines intensiven endosmotischen Stroms auf die Verdickung der Membran geltend.

(142.) Dieser Einfluss eines intensiven endosmotischen Stroms auf die Verdickung der Membran wurde noch durch folgenden Versuch in auffälliger Weise bestätigt. Brachte man eine Lösung von 10 Proc. Blutlaugensalz und 3,3 Proc. schwefelsaurem Kali in Berührung mit einer 1,6 proc. Lösung von essigsaurem Kupferoxyd, so entstand sofort eine tiefbraunrothe dicke Haut, eine ganz klare, kaum gefärbte aber, wenn man die erstere Lösung mit $\frac{2}{3}$ ihres Volums Wasser verdünnt hatte.

(143.) In sehr einfacher und lehrreicher Weise lässt sich das Ferrocyan kupfer in Membranform bringen, wenn man eine 2,3 proc. Lösung von Blutlaugensalz mittelst eines fein zugespitzten Röhrchens in eine 2,5 proc. Lösung von essigsaurem Kupferoxyd einströmen lässt. (Die Spitze des Röhrchens muss in die Kupferlösung eintauchen). Es bildet sich hier, auch bei sehr raschem Einströmen, keine Spur eines rothbraunen Niederschlags, sondern ein zarter wolkiger Schleier, der beide Flüssigkeiten, wie Oel und Wasser, von einander trennt. Man muss erstaunen, dass diese auffallend leichte Membranbildung aus chemisch so vielfach benutzten Substanzen bisher der Beobachtung entging. Eine Thatsache wird wegen scheinbarer Bedeutungslosigkeit leicht übersehen, wenn man sie nicht sucht und eine leitende Idee erscheint gleichsam als ein besonderer Sinn, der die Wahrnehmung erleichtert, oft allein ermöglicht.

(144.) Versuch. Um das Wachsthum einer Zelle mit Membran von Ferrocyan kupfer zu beobachten, wurden einige Tropfen einer 10 proc. Blutlaugensalzlösung in einem Röhrchen mit Quetschhahn (s. Anmerkung zu 134.) in eine 1,6 proc. Lösung von essigsaurem Kupferoxyd gebracht. Das Wachsthum ging wegen grosser Festigkeit der Membran sehr schwierig vor sich und wurde sehr bald durch Eruptionen unterbrochen, die sich zu Efflorescenzen verästelten (58.).

(145.) Versuch. Es war überraschend, dass das Zellenwachsthum besser gelang, wenn die essigsaure Kupferlösung (und zwar von 7,7 proc. Gehalt) die innere, die Blutlaugen-

salzlösung (von 2,3proc. Gehalt) aber die äussere Flüssigkeit bildete. Unter langsamer Endosmose trat aus der Mündung des eingetauchten Röhrchens, das die Kupferlösung enthielt, eine gespannte Zelle hervor, die sich im Verlaufe des weiteren Wachstums mit zahlreichen hohlen, stacheligen, mit dem Inneren der Zelle communicirenden Auswüchsen bedeckte, nach nicht bedeutender Vergrösserung zu wachsen aufhörte und dann, ausser einer schwach röthlichen Trübung der Membran, bis zu Ende des Versuchs (innerhalb 43 Stunden) keine weitere Veränderung mehr erlitt.

Ich weiss für diesen merkwürdigen Einfluss des Zelleninhalts auf die Leichtigkeit, mit der die Intussusception vor sich geht, keine Erklärung beizubringen.

(145b.) Noch leichter und ohne jede Eruption ging das Zellenwachsthum und die Intussusception vor sich, wenn der Zelleninhalt durch 10proc. Kupferchloridlösung gebildet wurde, von der man einige Tropfen in einem Röhrchen mit Quetschhahn in eine 2,3proc. Blutlaugensalzlösung tauchte. Schon nach $\frac{1}{4}$ Stunde hatte sich eine grosse, gespannte, höchst unregelmässig geformte, mit zahlreichen hohlen Stacheln besetzte Zelle gebildet, die nach $4\frac{1}{2}$ Stunden den grössten Theil des Wassers der ca. 2,3 Cc. betragenden äusseren Flüssigkeit eingesogen hatte.

Das Kupferchlorid besitzt offenbar eine enorme endosmotische Kraft (109.)

Bemerkenswerth bei diesem Versuche war auch die Bildung eines grossen Wulstes an der dem Lichte zugekehrten Seite der Zelle (100.).

(146.) Auch Berlinerblau (Eisencyanürcyanid, Ferrocyan-eisen) lässt sich in Membranform erhalten. Man brachte einige Tropfen einer verdünnten Eisenchloridlösung (1 Cc. officineller Tinctura ferro-muriatica von 1,45 sp. Gew. und 5 Cc. Wasser) in einem Röhrchen mit Quetschhahn in eine 10proc. Blutlaugensalzlösung. Es entstand sofort eine schön klare, wohl schwach blaue, aber durch die gelbe Blutlaugensalzlösung grünlich durchschimmernde Membran, und durch die starke endosmotische Kraft der Eisenchloridlösung innerhalb einer halben Stunde eine sehr

grosse Zelle, die nach einiger Zeit, unter Trübung des oberen Inhalts der Zelle, wohl aus denselben Gründen, wie die Zellen aus β Leim und Gerbsäure (42., 96., 97.) grosse Wülste nach oben bildete.

(147.) Die Membran, offenbar weniger fest und spröde, als die bisher besprochenen metallhaltigen Membranen, war nicht mit stacheligen Auswüchsen bedeckt, sondern zeigte nur ein schwach welliges Aussehen.

(148.) Das Zellenwachsthum in diesem Versuch war jedenfalls von einem eigenthümlichen chemischen Zersetzungsprocess begleitet, denn man sah von der Aussenfläche der Zelle gleich nach Beginn des Versuchs fortwährend klare Streifen einer gelben Lösung in der äusseren Flüssigkeit herabsinken.

(149.) Versuch. Bemerkenswerth ist, dass sich zwischen Lösungen von schwefelsaurem Eisenoxyd und Ferrocyankalium keine Membran, sondern nur gewöhnliche dicke Niederschläge von Berlinerblau herstellen liessen, man mochte beide Lösungen in verschiedener Concentration auf einander wirken lassen. Diese überraschende Thatsache lässt sich wohl nur durch die Annahme erklären, dass die Interstitien des Berlinerblau's zwar, wie aus Versuch 146. ersichtlich, kleiner sind, als die Molecüle des Ferrocyankaliums und Eisenchlorids, aber grösser, als die Molecüle des schwefelsauren Eisenoxyds.

(150.) Versuch. Bleiessig von 1,225 spec. Gew. gab eine klare, sehr feste Membran mit 10proc. Ferrocyankaliumlösung.

(151.) Brachte man im Quetschhahnröhrchen einige Tropfen einer kalt gesättigten Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxydul in eine 2,4proc. Blutlaugensalzlösung, so entstand eine äusserst zarte Membran, innerhalb deren die Quecksilberlösung nur langsam und wenig endosmotisch zunahm. Die Membran war nicht so starr, als die bisher untersuchten metallhaltigen Membranen. Während diese durch ihre Festigkeit und Sprödigkeit die Natur wirklicher Gläser zeigten, war die Membran von Ferrocyanquecksilber, ähnlich dem gerbsauren β Leim, weich und nachgiebig. Durch Neigen des Röhrchens, in welchem die Zelle hing, konnte man eine Veränderung ihrer Gleich-

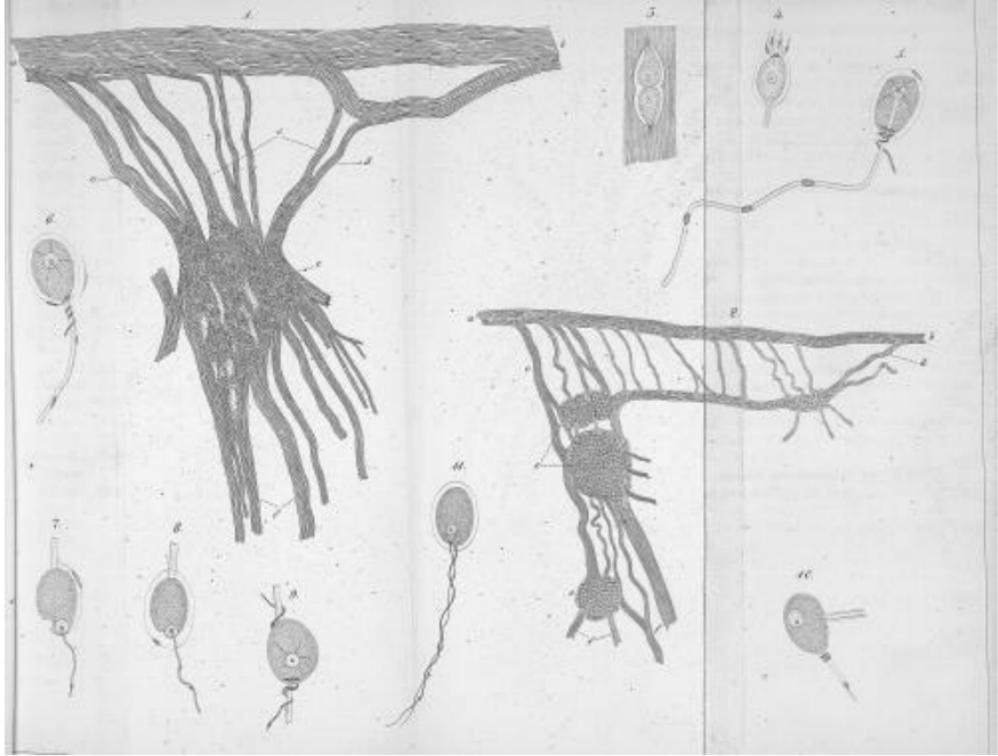
gewichtslage herbeiführen, was bei anderen metallhaltigen Zellen nicht gelang.

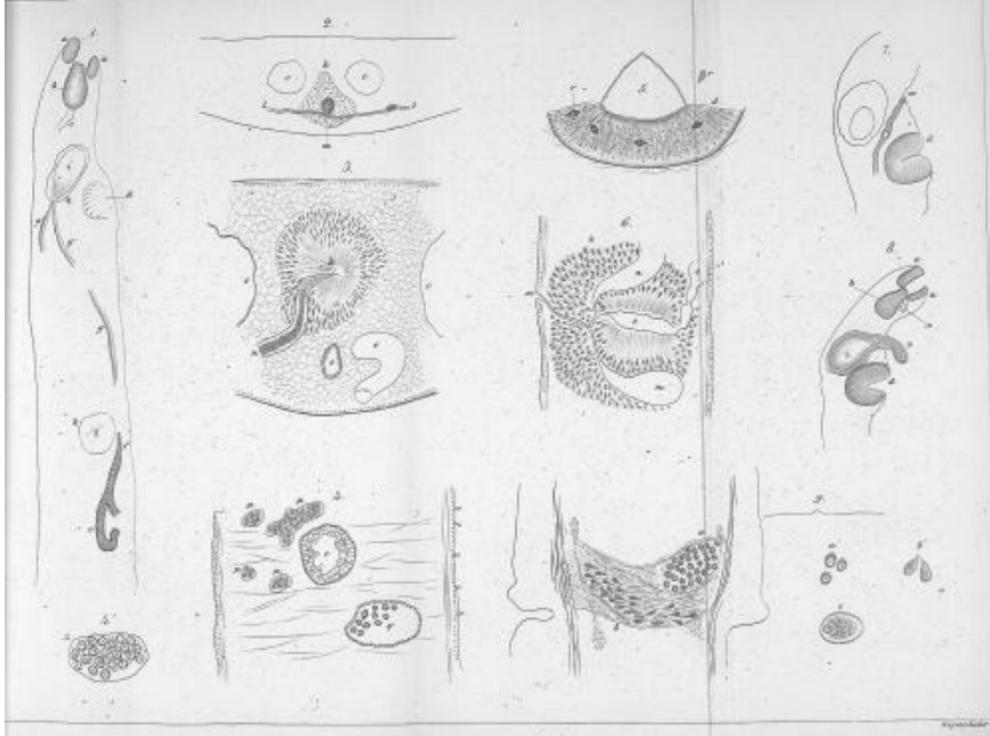
(152.) Die Membran zeigte selbst nach vielen Stunden keine Veränderung oder Verdickung. Sei es aber, dass die Membranbildner auf die Substanz der Membran zersetzend einwirkten und sich dadurch selbst zersetzten, — nach 12 Stunden zeigte sich die Ferrocyankaliumlösung getrübt und nach 36 Stunden hatte sie ihre membranbildende Fähigkeit ganz eingebüsst. Beide Flüssigkeiten hatten sich vermischt, während nur ein sehr geringer schwärzlicher Niederschlag entstanden war.

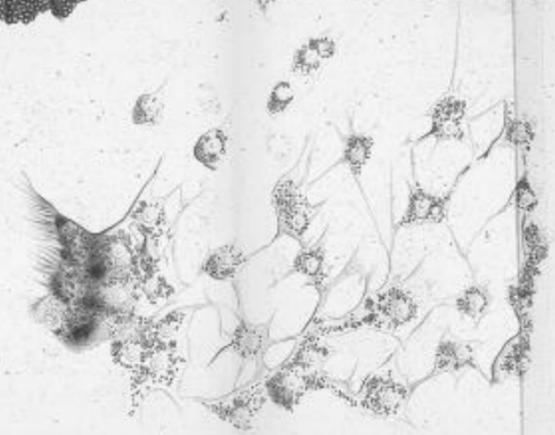
(153.) Es ist bekanntlich schwer, ja unmöglich, viele der unlöslichen Ferrocyanverbindungen durch Waschen vollständig zu reinigen. Diese Erscheinung, die man bisher, wie alle ähnlichen, der Wirkung der Adhäsion zuschrieb, beruht hier wohl jedenfalls auch mit darauf, dass die durch den Niederschlag einmal eingeschlossenen Partikeln der Lösung durch seine Interstitien nicht mehr hindurchdringen können.

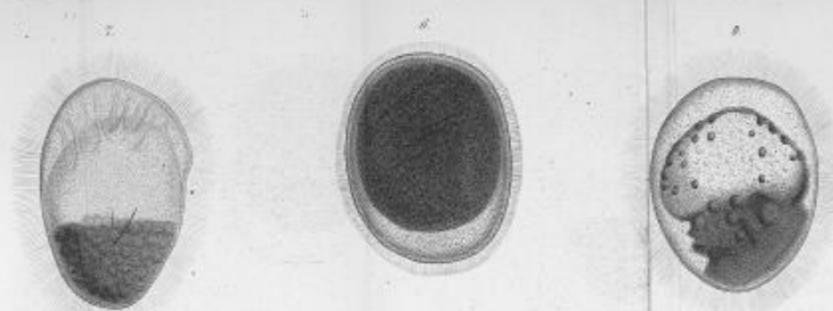
(154.) Nicht alle Körper, die einen Niederschlag geben, bilden auch Membranen. In vielen Fällen bildet sich im ersten Moment eine solche, die sich aber sofort und je länger, je mehr verdickt, indem der Körper, dessen Atomgewicht kleiner ist, in die Lösung des anderen Körpers von grösserem Atomgewicht eindringt. Beispiele: Ammoniak und Eisenchlorid, salpetersaures Silberoxyd und Blutlaugensalz, Chlorbarium und Wasserglas, Salzsäure und salpetersaures Silberoxyd, Salpetersäure und Eiweiss.

(Schluss im nächsten Heft.)









Experimente zur Theorie der Zellenbildung und Endosmose.

Von

M. TRAUBE, Dr. phil.

(Schluss vom ersten Heft.)

(155.) Versuch. Versuche führten zur Auffindung einer eigenthümlichen Membranbildung aus einem Colloïd einerseits und reinem Wasser andererseits.

Ein, an einem Glasstab hängender grosser, fester Tropfen höchst concentrirter Gerbsäurelösung, der durch mehrstündiges Stehen an der Luft fest und lufttrocken geworden, wurde in eine 8 proc. Lösung von β Leim eingetaucht. Er überzog sich sofort mit einer etwas trüben Membran und in wenigen Minuten erschien an der unteren Fläche des Tropfens ein kleines, faltiges Säckchen, das sich, unter Zusammenziehung seines Halses zu einem Bande, an demselben rasch zu Boden senkte.

Deplacirte man aber die Leimlösung durch destillirtes Wasser nach dem unter 84. 85. angegebenen Verfahren, wenn sich das schlaffe Säckchen eben gebildet hatte, oder brachte man den lufttrockenen Gerbsäuretropfen, nachdem er auch nur einige Secunden in 8 proc. β Leimlösung verweilt hatte, noch vor Bildung eines Säckchens, in destillirtes Wasser, so hatte sich in dem blossen Wasser nach ungefähr einer Stunde eine sehr grosse, ellipsoïde, mit wenig getrübttem Inhalt gefüllte Zelle von ca. 22 Mm. Länge und 10 Mm. Breite gebildet, deren Membran glatt, glänzend und durchsichtig war. Zuletzt fiel die Zelle, indem ihr Hals durch die grosse Last riss, zu Boden, ehe noch die ganze Gerbsäuremenge sich gelöst hatte.

(156.) Der chemische Process der Membranbildung ist hier folgender:

Concentrirte Gerbsäure löst selbst in der Kälte bedeutende Mengen β Leim auf (24.). Taucht man demnach ein Stück Gerbsäure in 8proc. Leimlösung, so bilden sich an der Berührungsgrenze fortwährend Schichten von gerbsaurem Leim, die sofort immer von der Gerbsäure gelöst werden, so dass diese zuletzt mit einer dicken Schicht einer concentrirten Lösung von gerbsaurem β Leim bekleidet ist. In Wasser gebracht, scheidet diese Lösung sofort einen Niederschlag von gerbsaurem Leim (24.) in Membranform aus.

(157.) Zwar müsste das Wasser, das durch diese Membran in die Zelle gelangt, sofort neue Ausscheidung von gerbsaurem Leim, also eine immer weiterschreitende Verdickung der Membran veranlassen. Aber der im Inneren der Zelle vorhandene, nur allmählich sich lösende Kern von Gerbsäure wirkt fortwährend lösend auf die Innenseite der Membran, die in Folge dessen eine gewisse Dicke nicht überschreiten kann.

(158.) In der That ist das Vorhandensein eines festen Kerns von Gerbsäure in der Zelle zum Gelingen des Versuchs durchaus nöthig. Brachte man ein Stückchen einer mit β Leim gesättigten Gerbsäure in Wasser, so bildete sich keine Membran, sondern eine sich immer mehr verdickende weisse Kruste von gerbsaurem Leim ohne Spur einer Zellenbildung.

(159.) Als weiteren Beweis für die richtige Deutung des Versuchs 155. diene die Thatsache, dass, wenn man im Verlaufe desselben zeitweise neues destillirtes Wasser nachströmen liess, dasselbe immer bald mit Eisenoxydlösung die Anwesenheit von Gerbsäure zu erkennen gab. Die Intussusception, das Wachsthum der Membran, musste hier nothwendig dem umgebenden Wasser einen Gerbsäuregehalt zuführen, da ja die Bildung der Membran eben in einer, durch Einwirkung des Wassers herbeigeführten Zerfällung des sauren gerbsauren Leims in unlöslichen gerbsauren Leim und sich lösende Gerbsäure bestand.

(160.) Der Gerbsäuregehalt des Wassers konnte nicht von einer directen Lösung der Membran herrühren, da gut gewa-

schener gerbsaurer Leim selbst nach tagelangem Stehen mit Wasser diesem kaum eine Spur von Gerbsäure abgiebt (25.).

10. Theorie der Membranbildung durch chemische Fällung.

(161.) Fassen wir die über Membranbildung gemachten Erfahrungen zusammen, so geht aus denselben hervor, dass nicht nur zwischen zwei colloïden (amorphen) Stoffen Membranen entstehen können, sondern auch zwischen einem colloïden und einem krystalloïden, ja sogar zwischen zwei krystalloïden Stoffen.

(162.) Die Unfähigkeit, durch eine Membran hindurchzugehen, ist demnach durchaus nicht auf amorphe Körper beschränkt und die einfache Theorie aller über Membranbildung gesammelten Thatsachen spricht sich in dem Gesetze aus:

Jeder Niederschlag, dessen Interstitien kleiner sind, als die Molecüle seiner Componenten, muss bei Berührung der Lösungen seiner Componenten, Membranform annehmen.

(163.) Die Entdeckung Graham's, dass die gewöhnlichen Membranen nur für amorphe Körper undurchdringlich sind, beweist nichts Anderes, als dass unter allen chemischen Verbindungen die **amorphen** die grössten Molecüle besitzen, die selbst nicht einmal durch die grösseren Poren der gewöhnlichen thierischen und pflanzlichen Häute durchzudringen vermögen. Wenn es je gelingen sollte, die absolute Grösse der Molecüle direct zu messen, so dürfte dies zunächst bei den Colloïden möglich sein.

(164a.) Die in 162. gegebene Theorie führt mit Nothwendigkeit zu einigen Folgerungen:

Je grösser die membranogenen Molecüle, um so weniger wird man einen directen Schluss machen können auf die Grösse der Membran-Interstitien; denn da die Molecüle eines sich abscheidenden Niederschlags, unabhängig von anderen Einflüssen, sich unbehindert so nahe zusammen-

legen, wie es ihre Form gestattet und ihre Anziehung verlangt, so können die Interstitien nahe so gross, aber auch bedeutend kleiner sein, als die membranogenen Molecüle.

(164 b.) Je kleiner die membranogenen Molecüle, desto enger sind die Grenzen, innerhalb welcher die Grösse der Membraninterstitien fallen muss, desto dichter wird im Allgemeinen die Membran sein.

(164 c.) Sind die Molecüle der Membranbildner, was wohl meist der Fall sein dürfte, von verschiedener Grösse, so wird, da die Interstitien der Membran immer kleiner sein müssen, als das kleinere membranogene Molecül, die Membran im Allgemeinen um so dichter sein, je kleiner auch nur das eine der membranogenen Molecüle (252.).

(165.) Das Wachsthum einer Membran durch Intussusception wird schon dann eintreten, wenn sich die Interstitien nur zu der Grösse des kleineren membranogenen Molecüls erweitern, so dass dieses hindurchtreten und neue Niederschlagsmolecüle bilden kann.

(166.) Die Intussusception wird um so leichter erfolgen, je geringer die Differenz zwischen der Grösse der Membraninterstitien und der Grösse der membranogenen Molecüle ist. In dem Wachsthum des gerbsauren β Leims haben wir ein Beispiel einer auffallend leichten, schon bei sehr geringer Dehnung eintretenden Intussusception kennen gelernt (92. 93.). Dagegen boten uns die meisten metallhaltigen Membranen Beispiele einer schwierigen Intussusception und es mag eben die Festigkeit einer Membran ihrer, das Wachsthum erschwerenden Dichte proportional sein.

(167.) Man kann einen und denselben Niederschlag bekanntlich aus verschiedenen chemischen Verbindungen erzeugen; Ferrocyankupfer z. B. aus Ferrocyanwasserstoff und Kupferchlorid, oder Ferrocyanammonium und salpetersaurem Kupferoxyd oder einem löslichen Doppelsalz des Kupferoxyds u. s. w. Die Theorie weist darauf hin, dass ein Niederschlag um so leichter Membranform annehmen wird, je grösser die Molecüle seiner Componenten sind, und da, nach weiterhin mitzutheilenden Thatsachen (238. 242.), die Grösse eines Mo-

lecüls mit seinem Atomgewicht und der Anzahl der Atome wächst, aus denen es besteht, so ist es wahrscheinlich, dass wohl die meisten Niederschläge in Membranform zu erhalten sind, wenn man sie aus möglichst complexen Verbindungen darstellt.

(168.) Dass es bei Darstellung von Niederschlägen in Membranform wesentlich auf die Componenten ankommt, die man zur Darstellung wählt, haben wir bei dem Berlinerblau erfahren (146. 149.), das bei Anwendung von Eisenchlorid, aber nicht von schwefelsaurem Eisenoxyd in Membranform zu erhalten war.

11. Endosmotisches Verhalten der Niederschlagmembranen.

(169.) Mit den überaus feinen Niederschlagmembranen lassen sich Diffusionsversuche nicht in der gewöhnlichen Art anstellen, da man sie nicht, wie ein Stück Blase, an das Ende eines Glasrohrs festbinden kann. Man kam zuletzt auf folgendes einfache Verfahren:

Der auf seine Diffusionsfähigkeit zu prüfende Körper A wurde der Lösung des einen Membranbildners zugesetzt und einige Tropfen der Mischung in das bereits beschriebene (134. Anm.) Röhrchen mit Quetschhahn gebracht, das man dann in 2 bis 3 Cc. der (in einem kurzen, engen Reagenzrohr befindlichen) Lösung des anderen Membranbildners eintauchte. Durch die, die Mündung des Quetschhahn Röhrchens sofort überziehende und abschliessende Niederschlagmembran wurde die Endosmose eingeleitet.

Nach Beendigung des Versuchs wurde das Röhrchen aus der äusseren Lösung herausgehoben und durch chemische Prüfung dieser letzteren ermittelt, ob der Körper A durch die Niederschlagmembran diffundirt war.

(170.) Einige Handgriffe erleichtern die Anstellung der Versuche:

Die in dem Quetschhahn Röhrchen enthaltene Lösung wird durch Hinabziehen des (durch den Quetschhahn geschlossenen) Kautschukschlauchs genau bis an die Mündung des Röhrchens

getrieben, so dass sie (die Lösung) eine plane Oberfläche bildet. Dadurch wird verhindert, dass sich beim Eintauchen des Röhrchens eine Luftblase zwischen die innere und äussere Lösung einschiebt.

Das Quetschhahnröhrchen steckt ziemlich lose in einem auf das kurze Reagensrohr passenden durchbohrten Kork, so dass es leicht auf- und abgeschoben werden kann.

Beim Beginn des Versuchs wird dafür gesorgt, dass der Quetschhahn dicht schliesst und die innere und äussere Lösung in gleichem Niveau stehen. Man kann dadurch eine etwaige endosmotische Zunahme der inneren Lösung constatiren, die sich durch eine aus der Mündung des Röhrchens heraustretende Zelle bemerkbar macht.

Hat sich eine Zelle gebildet, so wird ihr Inhalt nach beendigtem Versuch durch Hinaufziehen des Kautschukschlauchs in das Röhrchen hineingesogen und dieses herausgehoben, so dass man die innere und äussere Lösung, jede für sich, chemisch prüfen kann.

(171.) Versuch. In 10 Cc. Wasser wurden 1,6 Gr. β Leim und 0,23 Gr. Salmiak aufgelöst. Einige Tropfen dieser Lösung wurden (im Röhrchen mit Quetschhahn) in einige Cc. einer 3,5proc. Gerbsäurelösung eingesetzt. Die Mündung des Quetschhahnröhrchens überzog sich sofort mit einer Membran von gerbsaurem β Leim. Nach $\frac{1}{2}$ Stunde wurden einige Tropfen der äusseren Gerbsäurelösung mittelst einer Pipette auf ein Uhrglas gebracht und gaben, mit Salpetersäure und salpetersaurem Silberoxyd geprüft, reichlichen Niederschlag von Chlorsilber.

Die Membran von gerbsaurem Leim ist mithin permeabel für Salmiak.

(172.) Versuch. Einige Tropfen einer Lösung von 0,91 Gr. β Leim und 0,28 Gr. schwefelsaurem Ammoniak in 10 Cc. Wasser wurden in derselben Weise in einige Cc. einer 2,2proc. Gerbsäurelösung eingesetzt. Schon wenige Minuten nach Beginn des Versuchs verursachte ein Tropfen Chlorbariumlösung in die äussere Flüssigkeit gebracht, eine starke Trübung der untersten Schicht.

(173.) Versuch. Einige Tropfen einer Lösung von 0,58 Gr. β Leim und 0,19 Gr. schwefelsaurem Ammoniak wurden in einige Cc. einer 3,2proc. Gerbsäurelösung eingesetzt.

22 Minuten nach Beginn des Versuchs gab die äussere Lösung, mit Chlorbarium geprüft, starke Trübung in der untersten Schicht, während die obere, die mit der Membran in unmittelbarer Berührung gestanden hatte, klar blieb.

Offenbar bildet das durch die Membran hindurchtretende schwefelsaure Ammoniak eine concentrirte, sich rasch zu Boden senkende Lösung.

(174.) Versuch. Wiederholte man die eben mitgetheilten Versuche mit der einzigen Abänderung, dass man der äusseren Lösung eine sehr geringe Menge (0,3 Proc.) salpetersauren Baryt zufügte, so konnte man das Durchdringen des schwefelsauren Ammoniaks durch die Membran unmittelbar an den trüben Streifen von schwefelsaurem Baryt erkennen, die sich von der unteren Fläche der Membran herabsenkten.

(175.) Die Membran von gerbsaurem β Leim ist mithin permeabel auch für schwefelsaures Ammoniak.

(176.) Versuch. Brachte man eine Lösung von β Leim, der man grössere oder geringere Mengen verdünnter Schwefelsäure zugesetzt hatte, in eine etwas Chlorbarium haltende Gerbsäurelösung, so senkten sich von der unteren Seite der Membran fortdauernd trübe Streifen von schwefelsaurem Baryt herab.

Die Membran von gerbsaurem β Leim ist mithin permeabel für freie Schwefelsäure.

(177.) Versuch. Eine Mischung von 1 Th. Ferrocyankalium und 20 Th. β Leim wurde in sehr wenig Wasser zu einem dicken Syrup aufgelöst. Einige Tropfen davon in 1 Cc. einer 2,2proc. Gerbsäure eingesetzt, gab eine aus dem Röhrchen heraustretende ansehnliche Zelle. Nach 3 Stunden wurde die Gerbsäure auf einen Gehalt an Ferrocyankalium geprüft.

(178.) Es machte Schwierigkeiten, diesen Körper neben der Gerbsäure auch in kleinen Spuren nachzuweisen, denn das schärfste Reagens auf Ferrocyankalium, das mit diesem eine blaue Fällung giebt — Eisenoxydlösung — bildet mit Gerb-

säure einen tief schwarzen Niederschlag, der die gleichzeitige Anwesenheit des Berlinerblaus völlig verdeckt.

Nach vielen vergeblichen Versuchen fand man endlich, dass, wenn man sowohl die Gerbsäure einerseits, als andererseits die Eisenchloridlösung vorher mit viel verdünnter Salzsäure versetzt, die Gerbsäurereaction gänzlich ausbleibt, während die Bildung von Berlinerblau dadurch nicht verhindert wird.

Auf diese Weise ermittelte man, dass keine Spur von Ferrocyankalium durch die Membran in die äussere Flüssigkeit gedrungen war.

(179.) Derselbe Versuch, auf 20 Stunden ausgedehnt, ergab dasselbe Resultat. Die Membran von gerbsaurem Leim ist demnach völlig undurchdringlich für Ferrocyankalium.

(180.) Versuch. Brachte man einige Tropfen einer Lösung von 1 Th. Blutlaugensalz und 20 Th. β Leim in 80 Th. Wasser im Quetschhahnröhrchen in eine Lösung von 2,7 Proc. Gerbsäure und 0,9 Proc. salpetersauren Baryt, so stiegen im Quetschhahnröhrchen von der Membran trübe Streifen in die Höhe, offenbar herrührend von durchgedrungenem salpetersaurem Baryt, der mit dem Ferrocyankalium der inneren Flüssigkeit eine Fällung von schwerlöslichem salpetersaurem Baryt gab.

Die Membran von gerbsaurem β Leim ist demnach durchgängig für salpetersauren Baryt.

(181.) Die Untersuchung des endosmotischen Verhaltens der Membran von Ferrocyankupfer hatte mit höchst beträchtlichen Schwierigkeiten zu kämpfen, verursacht durch die Neigung derselben, Eruptionen zu bilden (144.), die durch Zusatz anderer Salze zu der inneren Lösung augenscheinlich vermehrt wird. Die Efflorescenzen, zu welchen sich die Eruptionen bald vergrösserten, gestatteten selbst solchen Körpern den Durchgang, für welche die Membran sonst undurchdringlich ist.

Man glaubte die Bildung von Eruptionen dadurch umgehen zu können, dass man empirisch diejenige Concentration der beiden Lösungen zu ermitteln suchte, bei welchen endosmotisches Gleichgewicht eintrat und jede weitere Intussusception und Ver-

grösserung der Membran ausbleiben musste. Dieses Gleichgewicht war aber in Wirklichkeit fast nie zu treffen, da es durch den geringsten Zusatz anderer Salze gestört wurde.

(182.) Zuletzt umging man alle Schwierigkeiten durch einen einfachen Kunstgriff. Man liess, nachdem man die Mündung des Quetschhahnröhrchens bis dicht unter das Niveau der äusseren membranogenen Flüssigkeit hinabgesenkt hatte, durch Oeffnen des Quetschhahns einen Theil der Flüssigkeit ausströmen, der sofort als eine mit Membran bekleidete, an der Mündung des Röhrchens hängende Zelle erschien. Hierauf wurde durch Hinaufziehen des Kautschukschlauchs der Inhalt der Zelle wieder in das Röhrchen hineingesogen, so dass dieses nunmehr durch eine vielfach gefaltete Membran von Ferrocyankupfer geschlossen war. Trat endosmotischer Druck im Verlauf des Versuchs ein, so wurde die Membran auseinandergefaltet, ohne zur Vergrösserung durch Intussusception gezwungen zu sein.

(183.) Versuch. Einige Tropfen einer Lösung von 2,4 Proc. Ferrocyankalium und 1 Proc. Chlorkalium wurden im Quetschhahnröhrchen in ca. 3 Cc. einer 2,8 proc. Lösung von essigsau-rem Kupferoxyd eingetaucht. Es bildete sich eine klare Membran. Nach 21 Minuten gab die äussere Flüssigkeit mit Silberlösung geprüft reichliche Flocken von Chlorsilber.

(184.) Versuch. Wiederholte man den Versuch mit der Abänderung, dass man unmittelbar vor Beginn desselben in die äussere Flüssigkeit einen Tropfen concentrirter Silberlösung vorsichtig hinabgleiten liess, so senkten sich nach wenigen Sekunden zarte weisse Nebel von der Membran herab, die am Boden, wo die concentrirte Silberlösung lag, dick und undurchsichtig wurden. Es wird hierdurch die Leichtigkeit, mit der das Chlorkalium durch eine Membran von Ferrocyankupfer hindurchgeht, sofort anschaulich gemacht.

(185.) Versuch. Man beobachtete dieselben Erscheinungen, wie im vorigen Versuch, wenn man dem Ferrocyankalium statt des Chlorkaliums Chlornatrium oder Chlorammonium setzte. Es ist aber, obwohl wahrscheinlich, doch nicht mit Sicherheit daraus zu schliessen, dass auch diese Salze durch die Membran von Ferrocyankupfer durchdringen, da sie sich

möglicherweise vorher mit dem Ferrocyankalium zu Chlorkalium und Ferrocyan-Natrium oder -Ammonium konnten umgesetzt haben. Um diese Quelle des Irrthums zu beseitigen, hätte man zum inneren Membranbildner Ferrocyan-Natrium oder -Ammonium verwenden müssen, — Verbindungen, die mir nicht zur Hand waren.

(186.) Versuch. Man bereitete eine Mischung von 0,5 Cc. einer 10proc. Chlorbariumlösung und 5 Cc. einer 2,8proc. essigsäuren Kupferoxydlösung und brachte einige Tropfen davon im Quetschhahnröhrchen in 2,4proc. Lösung von Ferrocyankalium. Es bildete sich sofort eine klare, zarte Membran.

Nach 20 Minuten gab die äussere Lösung mit Schwefelsäure geprüft, keine Spur eines Niederschlags. Die Membran von Ferrocyankupfer ist demnach undurchdringlich für Chlorbarium.

(187.) Versuch. Der vorige Versuch wurde umgekehrt. Man bereitete eine Mischung von 0,5 Cc. einer 10proc. Chlorbarium- und 5 Cc. einer 2,4proc. Blutlaugensalzlösung. Einige Tropfen davon im Quetschhahnröhrchen in 2,8proc. Lösung von essigsäurem Kupferoxyd eingeführt. Nach 44 Minuten gab die äussere Lösung wohl mit Silbersolution eine reichliche Fällung, aber keine Spur einer Reaction mit Schwefelsäure — ein Beweis, dass sie wohl Chlor aber kein Barium enthielt. Es war nicht Chlorbarium, sondern Chlorkalium durch die Membran gedrungen.

(188.) Es ist hierdurch, wie ich glaube, der erste scharfe experimentelle Beweis für die bisherige Vermuthung geliefert, dass Umsetzungen zwischen löslichen Salzen stattfinden, auch, wenn sie keine Niederschläge mit einander bilden.

(189.) Versuch. Man setzte einen Tropfen einer gesättigten Lösung von Chlorcalcium zu 5 Cc. einer 1,8proc. essigsäuren Kupferoxydlösung. Einige Tropfen dieser Mischung im Quetschhahnröhrchen in ca. 1 Cc. einer 2,4proc. Blutlaugensalzlösung eingesetzt, gaben eine klare Membran.

Nach 20 Minuten gab die äussere Lösung, mit oxalsaurem Ammoniak geprüft, keine Spur eines Niederschlags.

(190.) Versuch. Wurde derselbe Versuch mit der Abänderung angestellt, dass man unmittelbar vor Beginn desselben in die äussere Lösung vorsichtig einen Tropfen oxalsaure Ammoniaklösung hatte hinabsinken lassen, so blieb diese im Verlauf des Versuchs vollkommen klar, was nicht der Fall sein konnte, wenn auch nur eine Spur Chlorcalcium durch die Membran gedrungen wäre.

Die Membran von Ferrocyankupfer ist demnach undurchdringlich für Chlorcalcium.

(191.) Versuch. 0,1 Gr. schwefelsaures Kali wurde in 5 Cc. einer 1,8proc. essigsauren Kupferoxydlösung gelöst. Einige Tropfen dieser Mischung wurden im Quetschhahnröhrchen in ca. 1,5 Cc. einer 4proc. Blutlaugensalzlösung eingesetzt. Selbst nach $3\frac{1}{4}$ Stunden gab die äussere Flüssigkeit, mit Chlorbarium geprüft, keine Spur eines Niederschlags.

Die Membran von Ferrocyankupfer ist undurchdringlich für schwefelsaures Kali.

(192.) Versuch. Einige Tropfen einer Lösung von 1,8 Proc. essigsaurem Kupferoxyd und 0,05 Proc. salpetersaurem Baryt wurden im Quetschhahnröhrchen in eine Lösung eingetaucht von 2,4 Proc. Blutlaugensalz und 0,1 Proc. schwefelsaurem Kali. Es bildete sich sofort eine ganz klare Membran, durch welche weder salpetersaurer Baryt noch schwefelsaures Kali durchdrangen, da die Flüssigkeiten zu beiden Seiten der Membran völlig klar blieben.

(193.) Versuch. Dasselbe geschah, wenn die äussere Lösung statt 0,1 Proc. nur 0,02 Proc. schwefelsaures Kali enthielt, oder wenn die äussere Lösung 0,1 Proc. schwefelsaures Kali enthielt, dagegen der Gehalt der inneren Lösung an salpetersaurem Baryt bedeutend, d. h. bis auf 1 Proc. vermehrt wurde.

(194.) In allen Fällen blieb sogar die Membran völlig klar ohne Spur einer Trübung oder Verdickung durch Niederschlag — ein Beweis, dass eine so zarte Scheidewand hinreicht, das schwefelsaure Kali und den salpetersauren Baryt vollständig von einander zu trennen und ihre wechselseitige Einwirkung unmöglich zu machen.

Die Membran von Ferrocyankupfer ist demnach undurchdringlich für salpetersauren Baryt.

(195.) Einige Tropfen einer Lösung von 2,8proc. essigsau-rem Kupferoxyd und 0,5 Proc. schwefelsaurem Ammoniak wurden im Quetschhahnröhrchen in 3 Cc. einer 2,4proc. Blutlaugensalzlösung eingesetzt, in die man kurz vorher einen Tropfen gesättigter Chlorbariumlösung vorsichtig hatte hinabgleiten lassen. Es bildete sich eine ganz klare Membran und die äussere Flüssigkeit blieb vollkommen klar. Wäre nur eine Spur von schwefelsaurem Ammoniak durch die Membran gegangen, so hätten in der äusseren Lösung trübe Nebel von der Membran herabsinken müssen.

Die Membran von Ferrocyan-*kupfer* ist demnach impermeabel für schwefelsaures Ammoniak.

(196.) Die vorstehende Versuchsreihe ergibt, dass die Membran von gerbsaurem β Leim undurchdringlich ist nicht bloß für ihre Membranbildner (Gerbsäure und β Leim), sondern auch für eine leicht krystallisirbare Verbindung, — das Ferrocyan-*kalium*, dagegen

permeabel für Chlorammonium, schwefelsaures Ammoniak, Schwefelsäure, salpetersauren Baryt, endlich für Wasser (wie aus dem Wachsthum der Leimzellen hervorgeht).

Die Membran von Ferrocyan-*kupfer* aber ist undurchdringlich nicht bloß für ihre Membranbildner — Ferrocyan-*kalium*, essigsaueres Kupferoxyd oder Kupferchlorid (145.) — sondern auch gegen Chlorbarium, Chlorcalcium, schwefelsaures Kali, schwefelsaures Ammoniak und salpetersauren Baryt, dagegen

permeabel für Chlorkalium und Wasser.

(197.) Die Niederschlagmembranen verhalten sich demnach durchaus verschieden von allen bisher gekannten Membranen, indem sie selbst solchen Körpern den Durchgang verwehren, die man bisher zu den diffusibelsten rechnete.

(198.) Ausserdem aber zeigen die verschiedenen Niederschlagmembranen ein specifisch verschiedenes endosmotisches Verhalten. Eine Membran von gerbsaurem β Leim lässt schwefelsaures Ammoniak und salpetersauren Baryt durch,

für welche eine Membran von Ferrocyankupfer völlig undurchdringlich ist.

(199.) Diese Thatsache beweist in Uebereinstimmung mit der in Abschnitt 10. entwickelten Theorie, dass die Interstitien verschiedener Niederschlagmembranen verschieden gross sind. Es ist im vorliegenden Fall die Membran von Ferrocyankupfer offenbar dichter, als die von gerbsaurem β Leim, da die letztere Stoffe durchlässt, für welche die erstere impermeabel ist.

(200.) Umgekehrt kann man die Niederschlagmembranen als Atomsiebe anwenden, um die relative Grösse der Atome zu bestimmen; denn es sind offenbar die Molecüle, die durch eine bestimmte Membran hindurchgehen, kleiner als diejenigen, die das nicht vermögen.

12. Infiltration der Niederschlagmembranen.

(201.) Die Theorie über die moleculare Beschaffenheit der Niederschlagmembranen, die alle bisher ermittelten Thatsachen einfach erklärte, ja ihre Auffindung zum Theil veranlasste, führte zu der Vermuthung, dass man die Permeabilität der Membranen müsste vermindern können durch Niederschläge, die man in die Interstitien sich absetzen liess — ein Process, den wir mit Infiltration bezeichnen.

Setzte man z. B. einerseits einer Lösung von β Leim etwas schwefelsaures Ammoniak, andererseits einer Gerbsäuresolution etwas Chlorbarium hinzu, so musste bei Berührung dieser beiden Flüssigkeiten nicht nur eine Membran von gerbsaurem Leim, sondern in derselben ein Niederschlag von schwefelsaurem Baryt und damit nothwendig eine Verkleinerung der Interstitien erfolgen. Waren die derartig verengten Interstitien kleiner, als die Molecüle des Chlorbariums und schwefelsauren Ammoniaks, so konnten diese die Membran nicht mehr durchdringen. Der Niederschlag durfte blos in der Membran erfolgen, die Lösungen zu beiden Seiten der Membran mussten klar bleiben.

(202.) Versuch. Es wurden einerseits in 2 Gr. Wasser 0,3 Gr. β Leim (d. i. 15 Proc.) und 0,03 Gr. schwefelsaures Ammoniak (d. i.

1,5 Proc.), andererseits in 27 Cc. einer 2,2proc. Gerbsäurelösung 0,3 Gr. Chlorbarium (d. i. 1,1 Proc.) aufgelöst. Einige Tropfen der ersteren Lösung wurden im Quetschhahnröhrchen in einige Cc. der zweiten Lösung eingesetzt. Es bildete sich sofort eine äusserst schwach (offenbar durch Einlagerung von schwefelsaurem Baryt) getrübt Membran, während beide Lösungen vollkommen klar blieben. Dies war selbst nach 24 Stunden noch der Fall, so dass offenbar die Membran durch Infiltration mit schwefelsaurem Baryt ihre Permeabilität für schwefelsaures Ammoniak gänzlich eingebüsst hatte, nicht aber für Wasser; denn die innere Lösung hatte im Verlauf des Versuchs beträchtlich an Volum zugenommen und zur Bildung einer, an der Mündung des Röhrchens hängenden grossen Zelle mit kaum getrübt, wellig gekräuselter Membran Veranlassung gegeben.

(203.) Die Membran war viel fester, als die von reinem gerbsauren β Leim. Man konnte die Zelle stark erschüttern, ja sogar aus der Lösung herausheben, ohne dass sie zerriss.

Ueber die wahrscheinliche Ursache der unregelmässigen Form der Zelle s. 101.

(204.) Versuch. Vermehrte man den Gehalt der 15proc. β Leimlösung an schwefelsaurem Ammoniak bis auf 4,6 Proc. (d. h. auf fast ein Drittheil des Leimgehalts), so entstand, bei im Uebrigen unverändertem Versuch, eine schwach trübe Membran, durch die jedoch bald, offenbar in Folge des energischen endosmotischen Stroms (71. 72.) schwefelsaures Ammoniak in die äussere Lösung drang unter Bildung trüber Streifen von schwefelsaurem Baryt. Nach einiger Zeit hörte mit der Abnahme der intensiven Endosmose auch der Durchgang des schwefelsauren Ammoniaks auf, die Membran aber hatte eine so spröde Beschaffenheit angenommen, dass die weitere Endosmose kein Wachsthum, sondern zahlreiche, sich verästelnde Eruptionen zur Folge hatte.

(205.) Wurde die vorige Leimlösung verdünnter genommen, so dass das Verhältniss des Wassers, β Leims und schwefelsauren Ammoniaks wie 100 : 10,7 : 3,2 wurde, so drang zwar kein schwefelsaures Ammoniak durch die Membran, diese war aber

doch wieder so spröde, dass die weitere Endosmose kein Wachstum, sondern nur Eruptionen zur Folge hatte.

(206.) Man sieht, dass die Membran von gerbsaurem β Leim ihre physikalische Beschaffenheit um so mehr ändert und in dem Masse fester und spröder wird, je mehr ihr Gehalt an eingelagerten Molecülen von schwefelsaurem Baryt zunimmt.

(207.) Versuch. Setzte man einige Tropfen einer Lösung von 6 Proc. β Leim und 2 Proc. schwefelsaurem Ammoniak in einem Quetschhahnröhrchen in eine Lösung von 3 Proc. Gerbsäure und 1,2proc. salpetersauren Baryt, so bildete sich eine trübe Membran, welche sich weder verdickte, noch schwefelsaures Ammoniak oder salpetersauren Baryt durchliess.

(208.) Versuch. Verringerte man bei, im Uebrigen unveränderten Bedingungen den Gehalt der äusseren Lösung an salpetersaurem Baryt auf 0,9 Proc., so trat derselbe Erfolg ein, wie im vorigen Versuch. Bei Herabsetzung aber auf 0,6 oder gar 0,3 Proc. wurde die Membran nicht genügend verstopft und es drang fortdauernd schwefelsaures Ammoniak durch, sofort Nebel von schwefelsaurem Baryt bildend.

(209.) Der Procentgehalt der chemischen Verbindung, die den Niederschlag veranlasst, darf nicht unter ein gewisses Mass herabsinken, wenn der Niederschlag nur in der Membran erfolgen soll.

Auf dieser Erfahrung beruht der Kunstgriff, dessen wir uns bedient haben, um die Durchgangsfähigkeit eines Körpers durch eine Membran sofort augenscheinlich zu machen (174. 184.). Hatte man z. B. in Versuch 184. einen Tropfen Silbersolution in die äussere Lösung vorsichtig hinabgleiten lassen, so bildeten sich über demselben Schichten von verschiedenem, nach oben hin abnehmendem Gehalt an Silberlösung und das Chlorkalium verdichtete sich nach seinem Durchgang durch die Membran zu Nebeln von Chlorsilber, die um so undurchsichtiger wurden, je weiter es nach unten drang. Hätte man die Silberlösung nicht vorsichtig in die äussere Lösung hinabgleiten lassen, sondern mit ihr durchgeschüttelt, so lief man Gefahr, die Membran zu verstopfen und die Reaction wäre ausgeblieben.

(210.) Versuch. Brachte man einige Tropfen einer Lösung von demselben Gehalt an β Leim und schwefelsaurem Ammoniak wie in 207. im Quetschhahnröhrchen zuerst auf einen Moment in eine Lösung von 3 Proc. Gerbsäure und 1,2 Proc. salpetersaurem Baryt, dann aber sofort in reine 3proc. Gerbsäurelösung, so war die Membran schon durch dieses momentane Eintauchen in die barythaltige Lösung so verdichtet, dass die Endosmose anfänglich äusserst langsam vor sich ging und erst nach $\frac{1}{2}$ Stunde eine Volumzunahme der inneren Lösung bemerkbar wurde.¹⁾

(211.) Nach einer Stunde gab die äussere Lösung mit Barytsalz geprüft, reichlichen Schwefelsäuregehalt zu erkennen. Die Membran verlor demnach ihre Impermeabilität gegen schwefelsaures Ammoniak, wenn die Berührung mit Barytsalz nicht fort dauerte, und man sieht auch hier wieder, dass die endosmotischen Eigenschaften der Membran immer abhängig sind von der Gegenwart der Membranbildner (78. 120.).

(212.) Versuch. Einige Tropfen einer Lösung von 10 Proc. β Leim und 1,5 Proc. schwefelsaurem Natron wurde in einem Quetschhahnröhrchen in eine Lösung eingesetzt von 2,2 Proc. Gerbsäure und 1,1 Proc. Chlorbarium. Es entstand eine trübe, sich nicht weiter verdickende Membran, während die Lösungen zu beiden Seiten klar blieben.

Eine mit schwefelsaurem Baryt infiltrirte Membran von gerbsaurem β Leim ist demnach impermeabel für schwefelsaures Natron und Chlorbarium.

(213.) Fügte man der Lösung von β Leim freie Schwefelsäure, der Gerbsäure Chlorbarium hinzu, so erhielt man eine trübe Membran, die aber der freien Schwefelsäure den Durchgang nicht verwehrte. Man sah fortwährend Nebel von schwefelsaurem Baryt in der äusseren Lösung herabsinken, mochte man den Zusatz von Schwefelsäure zur inneren und des

1) Ein gleichzeitiger Gegenversuch, in welchem die Lösung von β Leim und schwefelsaurem Ammoniak nicht erst in barythaltige, sondern sofort in reine Gerbsäure getaucht wurde, ergab, dass das endosmotische Wachsthum der inneren Lösung sehr rasch und energisch eintrat.

Chlorbariums zur äusseren Lösung und die Concentration bei der Lösungen in der mannigfachsten Art abändern.

Eine mit schwefelsaurem Baryt infiltrirte Membran von gerbsaurem β Leim ist demnach permeabel für freie Schwefelsäure.

(214.) Versuch. Man wollte ermitteln, ob eine mit schwefelsaurem Baryt infiltrirte Membran ihre Permeabilität nicht bloß gegen schwefelsaures Ammoniak, sondern auch gegen Chlorammonium eingebüßt habe.

Ein Quetschhahnröhrchen zur Hälfte gefüllt mit ca. 0,5 Cc. einer Lösung von 16 Proc. β Leim, 1 Proc. schwefelsaurem Ammoniak und 3,3 Proc. Chlorammonium, wurde im Quetschhahnröhrchen in ca. 5 Cc. einer Lösung von 2,8 Proc. Gerbsäure und 1,2 Proc. salpetersaurem Baryt eingesetzt. Das Röhrchen schloss sich durch eine schwach trübe Membran.

Nach 13 Stunden hatte sich durch endosmotische Ausdehnung der inneren Lösung eine grosse, an der Mündung des Röhrchens hängende Zelle gebildet, während die früher trübe Membran im Verlaufe des Wachstums fast krystallklar wurde.

(215.) Die Lösungen zu beiden Seiten der Membran waren klar geblieben, — ein Beweis, dass weder schwefelsaures Ammoniak zum Chlorbarium, noch umgekehrt dieses zu jenem durch die Membran gedrungen war. Die äussere Lösung gab mit Silbersolution einen bedeutenden Chlorgehalt zu erkennen, die innere Lösung reagierte mit Barytlösung selbstverständlich reichlich auf schwefelsaures Ammoniak, mit Silbersolution aber nur noch spurweis auf Chlorammonium.

(216.) Es war demnach durch die mit schwefelsaurem Baryt infiltrirte Membran keine Spur von schwefelsaurem Ammoniak, dagegen fast der gesammte (das schwefelsaure Ammoniak um mehr als das Dreifache übertreffende) Chlorammonium-Gehalt in die äussere Lösung übergegangen.

(217.) Die infiltrirte Membran hatte auf rein mechanischem Wege eine fast vollständige Trennung beider Salze bewirkt.

Es ist wahrscheinlich, dass in allen Fällen, wo zwei Körper

gemeinschaftlich in Lösung sind, von denen der eine diffusibel ist, der andere nicht, das endosmotische Gleichgewicht erst dann eintritt, wenn der diffusible Körper sich vollständig auf die andere Seite der Membran begeben hat, vorausgesetzt, dass auf dieser anderen Seite der Membran eine genügende Menge Flüssigkeit vorhanden ist. Es ist dieser Gegenstand wohl einer weiteren Untersuchung werth.

(218.) Versuch. Durch Versuch 184. wurde erwiesen, dass Ferrocyan kupfer permeabel ist für Chlorkalium. Wurde dieser Versuch in der Art abgeändert, dass 2 Tropfen einer 20proc. salpetersauren Silberoxydlösung zu der etwa 3 Cc. betragenden äusseren Lösung (von essigsauerm Kupferoxyd) vor Beginn des Versuchs zugefügt und damit durchgeschüttelt wurden, so verdichtete sich Chlorsilber in der Membran von Ferrocyan kupfer, während die Lösungen zu beiden Seiten der Membran klar blieben.

Eine mit Chlorsilber infiltrirte Membran von Ferrocyan kupfer ist demnach auch für Chlorkalium nicht mehr permeabel.

(219.) Die Permeabilität der Membranen wird, wie wir gesehen haben, durch Infiltration mit Niederschlägen wesentlich verändert.

Eine Membran von gerbsauerm β Leim, infiltrirt mit schwefelsauerm Baryt, büsst ihre Permeabilität für schwefelsaures Ammoniak und salpetersauren Baryt ein, dagegen nicht für Chlorammonium und Wasser.

Eine Membran von Ferrocyan kupfer verliert durch Infiltration mit Chlorsilber sogar ihre Permeabilität für ein so diffusibles Salz, wie Chlorkalium.

(220.) Man weiss, dass die Membranen vieler Pflanzen- und Thierzellen einen grossen Reichthum an Aschenbestandtheilen besitzen, die nach der Verbrennung der organischen Substanz sogar oft noch die Form der Zellen beibehalten. Es ist wahrscheinlich, dass die Infiltration mit anorganischen, vielleicht aber auch mit organischen Niederschlägen einen wesentlichen Einfluss ausübt auf das endosmotische Verhalten der Zellen-

membranen und damit auch auf die, je nach den Geweben so verschiedene chemische Beschaffenheit des Zelleninhalts.

13. Zur Theorie der Endosmose.

(221.) Die in den vorangehenden beiden Abschnitten mitgetheilten Thatsachen gestatten wohl kaum noch einen Zweifel darüber, dass die endosmotischen Eigenschaften der Niederschlagmembranen bedingt sind durch die Grösse der Interstitien.

Die Niederschlagmembranen sind impermeabel nicht nur für ihre Membranbildner, sondern überhaupt für alle Körper, deren Molecül grösser ist, als die Interstitien der Membran, mithin auch für alle diejenigen Körper, deren Molecül grösser ist, als das kleinere membranogene Molecül.

Alle gefundenen Thatsachen stehen in so vollkommener Uebereinstimmung mit dieser Deutung und finden sich durch dieselbe in so ungezwungener Weise erklärt, dass ein Bedürfniss, eine andere Theorie zu suchen, wohl kaum vorhanden sein dürfte.

(222.) Je kleiner die Interstitien einer Niederschlagmembran, um so geringer muss die Anzahl der Körper sein, denen sie den Durchgang gestattet, und Nichts spricht gegen die Wahrscheinlichkeit, dass es Niederschlagmembranen giebt, die für alle Salze, ja sogar für Wasser, endlich auch für alle in Wasser gelösten Gase impermeabel sind.

(223.) Einen bestimmten Grad von Permeabilität aber behalten die Niederschlagmembranen nur so lange bei, als sie von ihren Membranbildnern umgeben sind. In diesem Falle werden ihre Interstitien selbst bei einem, die Membran spannenden und ausdehnenden einseitigen Druck niemals grösser werden können, als die membranogenen Molecüle, da jede grössere Lücke sofort durch Neubildung verstopft wird. Fehlt dagegen nur eine der membranogenen Lösungen, so ist jede Intussusception unmöglich. Die Interstitien werden bei einseitigem Druck auf die Membran grösser und ge-

statten dann auch solchen Körpern den Durchgang, für welche die Membran sonst nicht permeabel (88. 211.).

(224.) Diese Thatsache macht es wahrscheinlich, dass die vollständig entwickelten organischen Zellen andere endosmotische Eigenschaften und einen höheren Grad von Permeabilität besitzen als die jungen, noch im Wachsthum begriffenen (also noch von ihren Membranbildnern umgebenen). Ihre Permeabilität wird um so grösser sein, je grösser die endosmotische Spannung, der sie ausgesetzt sind, und vielleicht liegt auch hierin ein wichtiger Regulator ihres endosmotischen Verhaltens.

(225.) Die von anderen Forschern zu endosmotischen Versuchen benutzten thierischen und pflanzlichen (porösen) Membranen waren permeabel für fast alle löslichen Stoffe und in den mit diesen Membranen angestellten Versuchen traten meist zwei endosmotische, einander entgegengesetzte Strömungen auf. Es ging, wenn auf der einen Seite der Membran ein in Wasser gelöster Körper, auf der anderen Seite reines Wasser war, sowohl ein Strom von Wasser zu der Lösung, als auch Moleküle des gelösten Körpers zum Wasser. Hierdurch hatte man sich daran gewöhnt, beide Strömungen abhängig von einander zu denken und geglaubt, dass eine bestimmte Menge des auf die andere Seite übertretenden gelösten Körpers durch eine bestimmte Menge gegenströmenden Wassers ersetzt werden müsse. Diese Annahme führte zur Aufstellung des Begriffs „endosmotisches Aequivalent“.

(226.) Unsere Versuche zeigen, dass ein endosmotisches Aequivalent nicht existirt. Die Endosmose ist unabhängig von jedem Austausch; sie beruht ausschliesslich auf der Anziehung des sich lösenden Körpers zum Lösungsmittel, die, bei gleichbleibender Temperatur (wahrscheinlich) unveränderlich und dem Körper immanent, von uns als endosmotische Kraft bezeichnet wird.

(227.) Jede Anziehung muss unter Umständen eine Bewegung hervorrufen können. Sind beide sich anziehende Körper beweglich, so werden beide ihren Platz verändern und sich gegen einander hin bewegen. Ist der eine Körper an der Bewegung verhindert, so zieht er den andern an sich heran. Der

erstere Fall liegt vor bei gewöhnlichen porösen Membranen, der letztere, wenn der lösliche Körper von einer für ihn impermeablen Niederschlagsmembran umgeben ist. Der endosmotische Strom ist dann ein einseitiger, indem sich in Folge der Anziehung nur das Wasser durch die Membran hindurch bewegt.

(228.) Da es Membranen giebt, die selbst für die sonst diffusibelsten Körper impermeabel sind, so ist uns damit ein Mittel an die Hand gegeben, die Grösse der Anziehung vielleicht aller löslichen Stoffe zum Wasser zu messen. Man könnte vielleicht glauben, dass man diesen Zweck schon durch die Bestimmung der Löslichkeit eines Körpers erreicht. Diese stellt aber nur das Maximum des starren Körpers fest, das durch die anziehenden Kräfte einer bestimmten Menge Wassers seine Cohäsion einbüsst. Sie sagt Nichts aus über das Maximum von Wasser, das ein fester Körper anzuziehen vermag, denn eine mit einem festen Körper gesättigte Lösung vermag noch bedeutende Wassermengen anzuziehen. Um dieses Maximum kennen zu lernen, giebt es kein anderes Verfahren, als die Endosmose durch eine, für den betreffenden Körper impermeable Membran.

(229.) Manche Körper zeichnen sich durch eine, selbst bei nichtmessenden Versuchen, auffallende endosmotische Kraft aus, z. B. Traubenzucker, Kupferchlorid, Eisenchlorid (110. 145. 146.). Sie veranlassen, wenn sie den Inhalt der Zellen bilden, ein höchst beträchtliches und rasches Wachsthum. Eine Zelle aus β Leim, der Traubenzucker zugesetzt war, wurde durch Endosmose zuletzt specifisch leichter, als die umgebende Gerbsäure (110.).

(230.) Geringere Anziehung zum Wasser zeigen essigsaures Kupferoxyd, Ferrocyankalium, Gerbsäure und β Leim. Durch 6,6proc. Bleizuckerlösung wurde z. B. einer 30proc. Gerbsäure noch eine bedeutende Menge Wasser entzogen (132.) und während eine Zelle von Kupferchlorid in Ferrocyankalium zu einer auffallenden Grösse anschwell, zeigte eine solche von essigsaurem Kupferoxyd in der nämlichen Lösung ein nur geringes Wachsthum (145. 144.).

(231.) Auffallend gering ist die endosmotische Kraft gela-

tinirender Körper, wie aus dem Verhalten des gewöhnlichen Leims hervorgeht, bei welchem sie unter den Umständen auffallend wächst, unter denen seine Fähigkeit, zu gelatiniren, abnimmt [durch Zuführung von Wärme (13.), durch Säuren (8–11.), durch Umwandlung in die nicht gerinnbare Modification, in β Leim].

(232.) Wirkt die endosmotische Kraft eines Körpers durch eine für ihn permeable Membran hindurch, so muss (s. 227.) eine doppelte Strömung eintreten, wie die Versuche mit gewöhnlichen, porösen, für alle krystallisirbaren Stoffe permeablen Membranen, mit Schweinsblase, Collodium u. s. w. beweisen. Alle diese zahlreichen Versuche haben aber deshalb nicht zu bestimmten Gesetzen führen können, weil die angewandten Membranen nicht homogen sind und verschieden grosse Poren und Interstitien besitzen, darunter gewiss auch solche, die kleiner sind, als die Molecüle der gelösten Körper. An den Stellen, wo diese kleineren Interstitien vorhanden, wird nur Wasser hindurchgehen, während alle übrigen Stellen die doppelte endosmotische Strömung in grösserem oder geringerem Masse gestatten, so dass die Gesamtwirkung zuletzt eine ganz zufällige, mit jedem neuen Membranstück wechselnde sein muss.

(233.) Wissenschaftliche Klarheit kann in dieses Gebiet nur dann eindringen, wenn auch solche Versuche mit Niederschlagmembranen angestellt werden, die die Gewähr einer homogenen Beschaffenheit bieten. Es dürfte sich dann herausstellen, dass (ebenso, wie bei der Diffusion der Gase) bei der Endosmose mit doppelter Strömung das Atomgewicht eine wesentliche Rolle spielt, dass, je kleiner das Atomgewicht eines Körpers und je grösser seine Anziehung zum Wasser (seine endosmotische Kraft), um so grösser die Geschwindigkeit ist, mit der er durch die für ihn permeable Membran hindurchgeht.¹⁾

1) Bei der Diffusion zweier chemisch verschiedener, durch eine permeable Membran getrennter, Flüssigkeiten kommen auch Adhäsionsverhältnisse, d. h. die verschiedene Anziehung der Membran

14. Ueber die Grösse (das Volum) der Atome.

(234.) Was man in der Chemie unter Atomvolum versteht (den Quotienten aus dem specifischen Gewicht in das Atomgewicht eines Körpers), bezeichnet durchaus nicht das Volum des einzelnen Atoms oder Molecüls, sondern die Grösse des Raums, innerhalb dessen es seine Wärmeschwingungen vollführt.¹⁾ Dieser Raum aber ist offenbar von verschiedener Grösse je nach der Temperatur und dem Aggregatzustand des Körpers. Denn ein Körper von bestimmtem Gewicht nimmt im flüssigen oder gasigen Zustand einen viel grösseren Raum ein, als im festen, obgleich die Anzahl seiner Atome und deren Grösse dieselbe bleibt. Die Atome rücken eben aus einander, je höher die Temperatur ist. Das grösste Atomvolum müsste hiernach den Gasen zugeschrieben werden z. B. auch dem Wasserstoff, der unstreitig das kleinste Atomvolum besitzt und bei sehr hoher Temperatur sogar eine Wand von Platin durchdringt.

(235.) Das, was man bisher Atomvolum genannt hat, sagt demnach Nichts aus über die wirkliche Grösse des Atoms, sondern giebt eher Aufschluss über die wechselseitige Anziehung (Cohäsion) der Molecüle, über die Grösse des Widerstandes, den sie der ausdehnenden Kraft der Wärme entgegensetzen. Je grösser das Atomvolum, desto geringer wird im Allgemeinen die Cohäsion sein.

(236.) Dagegen besitzen wir in den Niederschlagmembranen ein Mittel, die Grösse der einzelnen, disgregirten, in Lösungen schwimmenden Atome (Molecüle), natürlich nur relativ, zu bestimmen, denn es sind offenbar diejenigen Molecüle, die durch eine Niederschlagmembran diffundiren, kleiner, als diejenigen, die das nicht vermögen (200.).

zu den verschiedenen Flüssigkeiten selbst in's Spiel, wie das Verhalten einer Kautschukhaut beweist, die im Gegensatz zu den thierischen Häuten, Alkohol leichter durchlässt, als Wasser.

1) Nach der mechanischen Wärmetheorie sind die Atome aller Körper beständig in einer schwingenden, geradlinigen Bewegung begriffen.

(237.) Wir bezeichnen, um Verwechslungen mit dem sogenannten Atomvolum vorzubeugen, das Volum des einzelnen Atoms (Moleçüls) mit dem Ausdruck „Atomgrösse“.

(238.) Ich habe bisher noch keine Versuchsreihe ausschliesslich zu dem Zweck unternommen, die relative Atomgrösse verschiedener Körper festzustellen, da mir zur Zeit, als ich meine Versuche anstellte, die Theorie der Permeabilität der Membranen noch nicht in allen Consequenzen zur Klarheit gediehen war und ich damals nur den Nachweis beabsichtigte, dass es Membranen gebe, die nicht nur für Colloïde, sondern auch für die verschiedensten Krystalloïde impermeabel sind. Indess haben meine Versuche wenigstens so viel wahrscheinlich gemacht, dass die Atomgrösse in einem auffallenden, proportionalen Verhältniss zum Atomgewicht stehe.

(239.) Das Wasser (Atomgewicht 9), das, nächst dem Ammoniak (Atg. 8,5), das kleinste Atomgewicht unter allen zusammengesetzten Körpern besitzt, diffundirte durch alle bisher untersuchten Niederschlagmembranen, da alle Zellen endosmotisches Wachsthum zeigten, ihre Membran mochte aus gerbsaurem Leim, Ferrocyan kupfer, gerbsaurem Bleioxyd, Berlinerblau bestehen. Sogar eine mit schwefelsaurem Baryt infiltrirte Membran von gerbsaurem β Leim, war permeabel für Wasser.

(240.) Chlorammonium (Atg. 53,4) durchdringt rasch eine mit schwefelsaurem Baryt infiltrirte Membran, die impermeabel ist für schwefelsaures Ammoniak (Atg. 66) (s. 216.).

(241.) Chlorkalium (Atg. 74,6) geht durch eine Membran von Ferrocyan kupfer, während schwefelsaures Kali (Atg. 87,2) und die Chlorverbindungen des Barium, Calcium und Kupfers (von resp. 112, 109,4, und 85,4 Atg.)¹⁾, ferner essigsäures Kupferoxyd (Atg. 100) und Ferrocyan kalium (Atg. 211,4) dies nicht vermögen.

Gerbsaurer Leim, noch durchdringlich für salpetersauren Baryt (Atg. 130,6) und alle untersuchten Verbindungen von ge-

1) Es sind dies die Atomgewichte der krystallisirten Verbindungen, da das Krystallwasser offenbar auch in den Lösungen dieser Salze als gebunden zu betrachten ist.

ringern Atomgewicht, nämlich Chlorammonium, schwefelsaures Ammoniak, Wasser, ist nicht mehr permeabel für Blutlaugensalz (Atg. 211,4), Gerbsäure (Atg. 618) und β Leim (von unbekanntem, aber unzweifelhaft sehr hohem Atomgewicht).

(242.) Die Thatsache, dass Chlorkalium (Atg. 74,6) durch eine Membran von Ferrocyankupfer durchdringt, nicht aber das leichtere Atom des schwefelsauren Ammoniaks (Atg. 66), scheint der Proportionalität zwischen Atomgewicht und Atomgrösse zu widersprechen, deutet aber wohl nur darauf hin, dass ausser dem Gewicht auch noch die Zusammengesetztheit des Atoms bestimmend ist für seine Grösse. Ein Molecül von schwefelsaurem Ammoniak ($\text{NH}_4\text{SO}_4\text{HO}$) besteht nämlich aus 15, das Chlorkalium (Ka_2Cl_2) nur aus 4 Atomen und da unsere Untersuchungen über die Permeabilität der Membranen beweisen, dass die Atome vermöge ihrer Gestalt selbst bei ungehinderter Zusammenlagerung dennoch mehr oder weniger grosse Zwischenräume unausgefüllt lassen, so kann kaum ein Zweifel darüber obwalten, dass auch die Atome zusammengesetzter Molecüle sich nicht zu einem compacten Molecül zusammenballen, sondern zur Bildung mehr oder weniger grosser Interstitien Veranlassung geben. Ist dies der Fall, so müssen Molecüle unter sonst gleichen Umständen einen um so grösseren Raum einnehmen, je zusammengesetzter sie sind, und es kann ein vielatomiges Molecül auch bei leichterm Gewicht eine beträchtlichere Grösse besitzen, als ein einfacher zusammengesetztes.

(243.) Es bleibt weiterer Forschung vorbehalten, die vermuthete genaue Proportionalität zwischen Atomgewicht und Atomgrösse¹⁾ festzustellen. Würde sie bestätigt, so ergäbe sich daraus der für die Physik bedeutsame Schluss, dass die Atome der Elemente gleiches specifisches Gewicht besitzen. Das Atom des Eisens, des Sauerstoffs, des Quecksilbers z. B. wäre dann nicht nur 28 oder

1) Bei gleicher Anzahl der das Molecül zusammensetzenden Atome.

resp. 16 oder 100mal so schwer, sondern auch 28 oder resp. 16 und 100mal so gross, als das Atom des Wasserstoffs.

(244.) Es würde dann Nichts der Ansicht entgegenstehen, dass es überhaupt (worauf auch schon die Newton'schen Gesetze mit fast zwingender Nothwendigkeit hinweisen) nur einen einzigen Grundstoff giebt und alle, scheinbar so grosse Verschiedenheit der Elemente nur darauf beruht, dass eben die Atome der verschiedenen Elemente verschiedene Form und Grösse besitzen. Von diesen Grundeigenschaften hätte dann die Physik alle Verschiedenheiten abzuleiten, die die Elemente in Bezug auf ihre Farbe, ihr specifisches Gewicht, ihre Cohäsion, ihre chemische Anziehung untereinander u. s. w. darbieten. Schon jetzt ist kein zwingender Grund vorhanden, auch noch eine stoffliche Verschiedenheit der Elemente anzunehmen, da offenbar schon die Grösse und Form ihrer Atome allein ihre specifische Verschiedenheit insofern wird zu erklären im Stande sein, als eben mit der Grösse und Gestalt der Atome deren physikalische und chemische Eigenschaften in der mannigfachsten Art variiren müssen.

15. Der chemische Process der Membranbildung in den Organismen.

(245.) Schon zu Anfang dieses Jahrhunderts hat Th. v. Saussure durch eine Reihe ausgezeichneter Versuche dargethan, dass die Pflanzen ausser ihrer Fähigkeit, die Kohlensäure im Sonnenlicht unter Ausscheidung von Sauerstoff zu zersetzen, auch noch die Eigenschaft besitzen, Sauerstoff unter Kohlensäurebildung aufzunehmen, und dass dieser letztere Process eine sehr wesentliche Bedeutung für das Leben der Pflanze besitzt. Bewundernswerth in seinen Versuchen, war Saussure weniger glücklich in ihrer Auslegung, die dahin lautete: „dass der deutlichste Einfluss, den das Sauerstoffgas auf die Vegetation äussert, der ist, kohlen-saures Gas zu bilden und den Pflanzen unter dieser Gestalt Elemente darzubieten, die sie sich aneignen können.“¹⁾

1) Th. v. Saussure, „Chemische Untersuchungen über die Ve-

(246.) Dieser Auslegung stehen die Thatsachen entgegen, dass die Pflanzen auch im Dunkeln den Sauerstoff in Kohlensäure verwandeln, obgleich sie diese hier nicht verwerthen können und dass, während sie im Dunkeln nur bei Gegenwart von Sauerstoff wachsen, die Anwesenheit grösserer Kohlensäuremengen ihnen hier geradezu schädlich ist. Es ist demnach nicht die Kohlensäurebildung Zweck der Respiration, sondern zunächst die Aufnahme des Sauerstoffs selbst.

(247.) Dieser wichtige Gegenstand blieb Jahrzehnde hindurch brach liegen, wie denn überhaupt die experimentelle Richtung von der mikroskopischen aus der Pflanzenphysiologie fast gänzlich hinausgedrängt wurde. Es wurde allerdings viel und mit grossem Erfolge mit Pflanzen experimentirt, aber fast nur im Interesse der Agricultur, die zur Pflanzenphysiologie eigentlich nur in demselben Verhältniss steht, wie die Lehre von der Mästung der Hausthiere zur Thierphysiologie.

(248.) Bei meiner Beschäftigung mit der Frage über die Bedeutung des Sauerstoffs für die Pflanzen wurde mir klar, dass dieses Gas für das Leben derselben eine eben so grosse Bedeutung besitzt, wie für die Thiere; dass sie aber hier, selbst in den Saussure'schen Versuchen, deshalb nicht scharf genug in die Augen fällt, weil die Pflanzen im Sonnenlicht aus ihrer eigenen Substanz Sauerstoff entwickeln und mit seiner Hülfe, selbst bei Entziehung des atmosphärischen Sauerstoffs sehr häufig noch lange fortvegetiren können.

Es ist bei den Versuchen über die Pflanzenrespiration offenbar nöthig, das Sonnenlicht vollständig auszuschliessen. Da aber unter diesen Umständen die Pflanzen die Kohlensäure nicht zersetzen und sich nicht das für ihr Leben nöthige Nahrungsmaterial verschaffen können, so muss man zu den Versuchen im Dunkeln solche Pflanzen wählen, die in einem Nahrungsreservoir, in Knollen, Keimblättern u. s. w. einen genügenden Nahrungsvorrath bereits aufgehäuft enthalten.

(249.) Wird solchen Pflanzen unter Abschluss des Sonnenlichts

der Sauerstoff entzogen, so tritt die Bedeutung dieses Gases für ihren Lebensprocess in aller Schärfe hervor. Sie ersticken dann, ebenso wie niedere (kaltblütige) Thiere schon in wenigen Stunden.

(250.) Ich stellte ferner fest, dass gerade nur diejenigen Pflanzentheile, die in der Entwicklung begriffen sind und in denen sich der flüssige Nahrungssaft organisirt,¹⁾ zum Wachsthum des Sauerstoffs bedürfen und sofort zu wachsen aufhören, wenn der Zutritt des Sauerstoffs gerade zu diesen Stellen unmöglich gemacht wird.

Diese Thatsachen führten mich zu dem Schluss, dass der chemische Process der Zellenbildung der Hauptsache nach ein Oxydationsvorgang ist, der (in Uebereinstimmung mit dahin gehörigen Analysen von Saussure und Boussingault) im Wesentlichen in der Oxydation eines löslichen Kohlehydrats zu Cellulose besteht.²⁾

Dieser Schluss, der mich, wie bereits erwähnt (121.), zu der Entdeckung führte, dass Membranbildung auch zwischen nicht colloïden Stoffen stattfindet, hat, wie ich glaube, dadurch um so mehr an Wahrscheinlichkeit gewonnen.

(251.) An einer anderen Stelle³⁾ habe ich darauf hingewiesen, dass auch die Thiere schon zu der Zeit athmen und Sauerstoff bedürfen, wo sie weder Eigenwärme erzeugen, noch sich

1) Lässt man eine Kartoffelpflanze im Dunkeln wachsen, so bezieht der Keim, der sich nur an der Spitze verlängert, sein Nahrungsmaterial aus der Knolle. Der Nahrungssaft, der sich in der Knolle bildet, muss demnach durch die ganze, oft viele Fusse betragende Länge des Stengels in flüssiger Form wandern, ehe er in die Terminalknospe eintritt, wo er durch den Einfluss des Sauerstoffs in Zellenform coagulirt.

2) Das Nähere darüber s. in meiner bereits 1859 im Monatsbericht der Berliner Akademie mitgetheilten Abhandlung „über die Respiration der Pflanzen“. Diese Abhandlung ist von Hrn. Dr. Julius Sachs in seinem trefflichen Handbuch der Physiologie der Pflanzen weder erwähnt noch benutzt worden.

3) Virchow's Archiv für patholog. Anat. Bd. XXI. „Die Respiration in ihrer Beziehung zur Muskelthätigkeit und die Bedeutung der Respiration überhaupt“. S. 401.

bewegen; dass die Aufnahme des Sauerstoffs, die bei den Eiern aller Thiere stattfindet, nothwendig ist zur Zellenbildung und dass auch bei den Thieren die Zellenmembran durch Oxydation gebildet wird.

(252.) Ist es aber ein Körper von so kleinem Atomgewicht, wie der Sauerstoff (= 16), der die Thier- und Pflanzenmembranen erzeugt, so muss deren Dichte, bei der Kleinheit des einen membranogenen Molecüls (164b und c. 221.) eine enorme sein. Sie werden zwar noch dem Wasser (Atg. = 9), aber keinem darin gelösten Salze einen directen Durchgang gestatten.

(253.) Hierdurch ist es erklärlich, dass selbst die kleinsten Thiere und Pflanzen des Meeres unabhängig sind von dem Salzgehalt des umgebenden Mediums und ihre Gewebsflüssigkeiten ähnliche Zusammensetzung zeigen, wie die Süßwassergeschöpfe.

So viel auch noch zu erforschen bleibt in Bezug auf die Membranbildung in den Organismen, — die sich hier aufdrängenden Fragen sind, wie ich glaube, durch vorliegende Untersuchungen greifbar und der experimentellen Forschung zugänglicher geworden.

16. Schlussbemerkungen.

(254.) Es giebt eine Art der Kritik, die, blind gegen die Hülfsmittel, die neue Thatsachen der Forschung darbieten, ihre Aufgabe nur darin sieht, — Einwendungen zu machen. Sie wird nicht verfehlen, gegen die hier gefundenen Thatsachen den Einwurf zu erheben, dass sie noch nicht alle Erscheinungen des Wachsthum's erklären, und wird ihnen schliesslich schon deshalb alle Bedeutung absprechen, weil es noch nicht direct erwiesen, dass die Zellen- und Membranbildung in den Organismen auf demselben Process beruht, der den Gegenstand vorliegender Untersuchung ausmacht.

Bis zu einem gewissen Grade ist ein solches Bedenken gerechtfertigt. Die Naturwissenschaft würde nicht jene erhabene Sicherheit besitzen, die sie vor den meisten Disciplinen auszeichnet, wenn es im Gebiet ihrer Forschung nicht unerbitt-

licher Brauch wäre, jede, selbst die wahrscheinlichste, Folgerung noch durch directen Versuch zu beweisen. Damit ist aber nur zugestanden, dass die Arbeit eben noch nicht ganz gethan ist.

In jedem Falle ist durch vorliegende Untersuchung die Frage der Zellenbildung in den Organismen auf einen anderen Standpunkt, wie früher, gebracht. Bisher kannte man keinen physikalischen Vorgang, der auch nur eine entfernte Aehnlichkeit mit jener Lebenserscheinung aufwies. Aus diesem Stadium ist die Geschichte des Gegenstandes nunmehr herausgetreten. Man kennt jetzt

1) einen physikalischen Process der Membranbildung durch chemische Fällung

2) einer Bildung geschlossener, durch Druck von innen nach aussen gespannter, des Wachsthums in verschiedenen Formen fähiger Zellen.

Man kennt jetzt

3) einen physikalischen Process der Intussusception

4) einer Endosmose, die, je nach der physikalischen, durch Infiltration überdies in der mannigfachsten Art modificirbaren Beschaffenheit der Membran, die chemische Mischung der von ihr eingeschlossenen Flüssigkeiten qualitativ zu beeinflussen vermag.

Alle diese Prozesse stehen ähnlich, wie in der organischen Welt, in so naher Beziehung zu einander, dass man ihren Ablauf in einem und demselben einfachen Versuch gleichzeitig beobachten kann und es ist kaum anzunehmen, dass man noch einen zweiten physikalischen Vorgang finden wird, der in seiner Ganzheit eine solche Aehnlichkeit mit der organischen Zellenbildung aufzuweisen vermöchte. Jedenfalls wird der Physiologie für jetzt die naturgemässe Aufgabe erwachsen, auf dem nunmehr gewonnenen Boden weiter zu forschen und nachzuweisen, ob der nun gefundene physikalische Process im Einklang steht mit allen in dieses Gebiet einschlagenden physiologischen Beobachtungen.

Erst dann, wenn ein unlöslicher Widerspruch sich herausstellt, wird es an der Zeit sein, eine andere physikalische Er-

klärung aufzusuchen. Zunächst glaube ich, wird ein vorurtheilloses Bemühen auf dem endlich aufgefundenen Wege den Erfolg haben, dass sich Physiologie und Physik durch neue, nunmehr erst genau präcisirbare Fragen und deren Lösungen wechselseitig befruchten.

Es wird manchen Physiologen vielleicht schwer werden, sich von den sprachlich schönen, aber ein wenig unbestimmten Ausdrücken, wie „peripherische Ausscheidungen und Verdichtungen des Primordialschlauchs oder Protoplasmas“ zu trennen; aber sie werden sich allezeit erinnern müssen, dass das Protoplasma nicht ausserhalb der physikalisch-chemischen Gesetze steht, dass die Membran, da sie aus einer Flüssigkeit sich bildet, nichts Anderes sein kann, als ein chemischer Niederschlag, und dass — hier liegt der Cardinalpunkt der ganzen Frage — wir bis jetzt keinen anderen Process kennen, durch den Niederschläge aus Lösungen Membranform annehmen, als den in dieser Abhandlung nachgewiesenen.

(255.) Die Thierphysiologie wird vorliegende Untersuchung vielleicht einfach ignoriren. Diese Disciplin hält die Frage nach der Bedeutung der Membran, die sie zu einem Excret degradirt hat, für eine untergeordnete. Nach ihrer heutigen Anschauung müsste ein richtiger thierischer Organismus Nichts, als ein formloser Schleimklumpen sein.

Die Streitfrage, die die heutige Physiologie mächtig bewegt, ob es auch Zellen ohne jede feste Umhüllung gebe, ist noch nicht geschlossen und ich werde mir nicht erlauben, über die Sache selbst abzuurtheilen. Aber es sei mir gestattet, zu bemerken, dass dieser Gegenstand nicht den geringsten Bezug hat zur Frage über die Bedeutung der Zellenmembran.

Gesetzt, es sei erwiesen, dass es Zellen auch ohne Andeutung einer Membran, dass es ganze Organismen gebe, die sich der Hauptsache nach als mikroskopische Schleimmassen darstellen, so würde man daraus nur schliessen können, dass auch formlose Massen Eigenschaften besitzen können, die wir als charakteristisch für das Leben halten: die Fähigkeit, fremde Körper in sich aufzunehmen, zu assimiliren, und sich zu neuen Individuen zu zertheilen. Solche Erwerbungen der Wissen-

schaft wären um so wichtiger, als sie der physikalischen Forschung das Räthsel des Lebens in seiner einfachsten Form vorführten.

Die Frage aber nach der Bedeutung der Zellenmembran wäre damit nicht erledigt, kann überhaupt nicht durch vergleichende Anatomie und Entwicklungsgeschichte, sondern nur durch directes Experiment entschieden werden. Man müsste ja sonst den wichtigsten Organen, dem Herzen, dem Gehirn, den Nerven eine wesentliche Bedeutung absprechen, weil sie vielen niederen Thieren immer und selbst den höheren Thieren in der frühesten Periode der Entwicklung fehlen.

Nach den hier mitgetheilten Versuchen kann die Zellenmembran wohl nicht ohne wesentlichen Einfluss auf den Ablauf der Lebensprocesse sein, und membranlose Zellen bedürfen vielleicht deshalb keiner solchen Hülle, weil sie bei einer gewissen Zusammensetzung im Stande sind, die Functionen der Membran mit zu übernehmen. Sie scheinen gallertartige Stoffe zu enthalten, die ihnen eine gewisse Cohärenz verleihen und die, nach den Versuchen Graham's, in Bezug auf Endosmose ähnlich wirken, wie colloïde Membranen. Eine genauere Forschung über die endosmotischen Eigenschaften gallertartiger Stoffe wird auch hierüber Licht verbreiten.

Ueberhaupt scheint die Lehre von den Molecularinterstitien, von der Permeabilität der Materie eine der fundamentalsten im gesammten Gebiete der Naturwissenschaften werden zu sollen. Die Physiologie dürfte ihr die Aufklärung eines wesentlichen Theils des Processes der Zellenbildung, die Chemie eine Methode verdanken, verschiedene, in Lösung neben einander befindliche Stoffe mechanisch von einander zu trennen, in der Physik endlich dürfte sie ein specielles Kapitel bilden, dem fortan die Erforschung der endosmotischen Gesetze und der Beschaffenheit der Materie selbst (236. 244.) zufällt.

Breslau, im November 1866.

N a c h t r a g.

Ich habe die Bedingungen zu ermitteln gesucht, unter welchen die aus β Leim und Traubenzucker in Gerbsäure sich bildenden Zellen das öfter beobachtete glänzende Irisiren immer zeigen und habe Folgendes gefunden.

1) Eine wesentliche Bedingung hierzu ist, dass die Gerbsäurelösung nicht rein ist, sondern noch andere Körper enthält. Hat sie sich nach längerer Zeit durch freiwillige Zersetzung zum Theil in Gallussäure umgewandelt, so bilden sich in ihr irisirende Zellen. Noch wirksamer in dieser Beziehung ist ein Zusatz von Kochsalz zu frischer Gerbsäurelösung.

Das lebhafteste Irisiren zeigten die Membranen, wenn erstarrte Tropfen einer concentrirten Mischung von 5 Th. β Leim und 5—9 Th. Traubenzucker am Glasstab in eine ganz klare Lösung gebracht wurden, die in 100 Cc. 2,6 Gr. Gerbsäure und 2,6 Gr. Kochsalz oder 3 Gr. Gerbsäure und 5 Gr. Kochsalz enthielt. Unter dem Einfluss verschiedener, nicht zu ermittelnder Ursachen (vielleicht einer besonderen, von dem Zustand der Atmosphäre abhängigen Beschaffenheit des Tageslichts oder einer bestimmten Temperatur oder der mehr oder weniger frischen Beschaffenheit der Lösung) zeigte sich das Irisiren mitunter besonders glänzend, vorzugsweise in Roth, Grün und Orange, während bei matterem Irisiren Violett und Orange die vorherrschenden Farben sind.

2) Wird der Zusatz von Traubenzucker zum β Leim bedeutend verstärkt, so bilden sich unter sonst gleichen Umständen nicht irisirende Zellen.

3) Auch blosser β Leim bildet in stark kochsalzhaltiger Gerbsäure unter langsamer Endosmose sofort, aber nicht so schön irisirende Zellen, als wenn er einen Zusatz von Traubenzucker enthält.

4) Die stark irisirenden Membranen, die sich in kochsalzhaltiger Gerbsäure bilden, besitzen trotz ihrer ungemeinen Feinheit eine viel grössere Festigkeit und Tragkraft, als die in reiner Gerbsäure erzeugten. Sie bilden gespannte, meist ellipsoide Zellen, während die in blosser concentrirter Gerbsäure

erzeugten und ebenfalls, aber weit schwächer irisirenden, mit hin dickeren Membranen schlaffe Zellen bilden.

5) Die eben mitgetheilten Thatsachen beweisen von Neuem den Einfluss der Intensität des endosmotischen Stroms auf die Dicke der sich bildenden Membran. Enthält die äussere Lösung ausser dem Membranbildner noch einen anderen Körper, so wird nothwendig eine Abschwächung des endosmotischen Stroms und Bildung einer dünneren Membran herbeigeführt. Eine Verstärkung des endosmotischen Stroms durch beträchtlich vergrösserten Zusatz von Traubenzucker hebt das Irisiren, wie wir gesehen haben, wieder auf.

Da aber das Irisiren bei Zusatz von Kochsalz zur Gerbsäure dennoch viel lebhafter ist, als dann, wenn die Abschwächung des endosmotischen Stroms einfach durch grössere Concentration des äusseren Membranbildners selbst erfolgt — in kochsalzhaltiger Gerbsäure ist, wie erwähnt, das Irisiren ungleich lebhafter, als in reiner concentrirter — so muss noch eine zweite Ursache bei dieser Erscheinung mitwirken, über welche ich mir folgende Hypothese erlaube: Ich habe an einer früheren Stelle als wahrscheinlich hingestellt, dass ein starker endosmotischer Strom deshalb zur Verdickung der Membran beiträgt, weil durch die lebhaft strömende Molecüle des äusseren Membranbildners in die Zelle hinübergerissen werden, die an der Innenwand derselben zu Membrantheilchen coaguliren. Enthält aber die äussere Lösung noch einen indifferenten Körper, wie Kochsalz, so werden durch Zwischenschiebung seiner Molecüle die Interstitien der Membran so weit verengt, dass die Gerbsäure nicht mehr so leicht durch die Membran hindurchgetrieben werden kann. Durch eine derartige Abschwächung der Wirkung des endosmotischen Stroms dürfte es den Membranmolecülen ausserdem möglich sein, sich in mehr geordneter Weise nach ihren Anziehungsrichtungen zu lagern, und es wäre damit auch die verhältnissmässig so grosse Festigkeit und Cohärenz der stark irisirenden Membranen erklärt.

Es wurde dargethan (s. o. 17. 42. 96. ff.), dass die Membran im oberen Theil der Zelle dünner sei, als deren seitliche und un-

tere Wandung, und diese Thatsache in Uebereinstimmung mit anderen Beobachtungen dadurch erklärt, dass die durch Endosmose sich verdünnenden Flüssigkeitstheilchen des Zelleninhalts in Folge ihres geringeren specifischen Gewichts sich im oberen Zellraum ansammeln, dass also hier die Differenz in der Concentration der inneren und äusseren Lösung sehr bald auf ein Minimum herabsinkt. Je geringer aber diese Differenz, desto schwächer wird der endosmotische Strom und desto dünner wird die sich bildende Membran. Bei einem von Innen nach Aussen wirkenden Druck muss demnach der obere Theil der Zelle mehr gedehnt werden, als die übrigen Theile, das Wachsthum mithin vorzugsweise in der Zelle stattfinden.

Ich habe hieran die Vermuthung geknüpft, dass diese, in letzter Instanz auf den Einfluss der Schwerkraft zurückzuführende Erscheinung vielleicht zur Erklärung des Aufwärts-Wachstums der Pflanzen benutzt werden könnte, das bekanntlich nachweisbar ebenfalls durch die Schwerkraft bedingt wird. Der nachstehende einfache Versuch dürfte diese Vermuthung wesentlich bekräftigen:

Bringt man ein Stückchen festes, lufttrockenes Kupferchlorid in eine 4—6 proc. Lösung von Ferrocyankalium (der Versuch gelingt auch in concentrirteren und verdünnteren Lösungen), so bekleidet es sich, am Boden des Gefässes liegend, sehr bald mit einer, sich nach allen Richtungen ziemlich gleichmässig abhebenden Membran von Ferrocyankupfer, innerhalb deren es sich zu einer grünen Flüssigkeit löst. Sehr bald beginnt die Zelle ausschliesslich am Gipfel zu wachsen, wodurch sie aus der anfänglich runden Form in eine langgestreckte übergeht, deren Längsaxe völlig senkrecht steht.

Das Wachsthum der Zelle geht bei der grossen endosmotischen Kraft des Kupferchlorids ungemein rasch vor sich, aber nicht continuirlich, sondern, wie bei sehr vielen metallhaltigen festen Membranen, ruckweise, da erst dann, wenn der endosmotische Druck eine gewisse Höhe erreicht hat, neue Membranthteile in Form feiner, hohler Spitzen hervorgestossen werden. Man ist durch das Erscheinen dieser Spitzen in den Stand gesetzt, unmittelbar wahrzunehmen, dass das Wachsthum, die

Neubildung von Membran hier nur im Gipfel der Zelle geschieht.¹⁾

Wird der Versuch in einem, mit Ferrocyankaliumlösung völlig gefüllten, verkorkten Fläschchen angestellt, das überdies in einen, nach allen Richtungen drehbaren Halter eingeklemmt ist, so wächst, wenn man die Lage des Fläschchens nach einiger Zeit ändert, die Spitze der Zelle sofort in veränderter Richtung, aber immer wieder senkrecht nach oben weiter, so dass man durch mehrfache Aenderung der Lage des Fläschchens die Zelle in Form eines, in beliebigen Krümmungen gewundenen Schlauches erhält.²⁾

Man könnte glauben, die Spitze der Zelle biege sich deshalb nach oben, weil ihr Inhalt vielleicht specifisch leichter ist, als die umgebende Flüssigkeit. Aber abgesehen davon, dass die Membran so fest und widerstandsfähig ist, dass eine solche directe Einwirkung des specifischen Gewichts ohne Einfluss auf sie bleiben müsste, kann man sich durch den Versuch vom Gegentheil überzeugen. Stellt man nämlich den Versuch auch mit sehr verdünnter (2proc.) Ferrocyankaliumlösung an, so gelingt er in derselben Weise, und schneidet man mittelst eines Glasstabs den oberen Theil der Zelle (in der Flüssigkeit) ab, so sieht man ihn selbst in concentrirteren äusseren Lösungen, als specifisch schwereren Körper, zu Boden sinken. Erst nach längerem Wachsthum wird der Zelleninhalt specifisch leichter, als

1) Nach vollendetem Wachsthum erhält sich die Zelle mehrere Stunden ziemlich unverändert, schrumpft aber zuletzt zu einer mürben, rothbraunen Masse zusammen, wahrscheinlich dadurch, dass der Zelleninhalt (das Kupferchlorid) durch chemische Einwirkung auf die Membran von Ferrocyankupfer zersetzt wird.

2) Wird die, bis dahin senkrecht aufwärts gewachsene Zelle durch veränderte Lage des Fläschchens gezwungen, sich bei ihrem Wachsthum unter erheblichem Winkel zu krümmen, so macht sie gleich darauf auffallende, fast rhythmische Bewegungen. Diese, im Anfang überraschende Erscheinung erklärt sich durch die erwähnte ruckweise Ausdehnung der Membran, die jedesmal von einem Rückstoss gegen die der Spitze der Zelle entgegengesetzte Seitenwand derselben begleitet ist.

die umgebende Flüssigkeit und die Zelle steigt dann öfter mit Beibehaltung ihrer Krümmungen in die Höhe.

Während das Wachsthum der Zellen vorzugsweise in ihrem Gipfel vor sich geht, findet die Endosmose, wie ich ebenfalls schon mehrfach erwähnt, fast ausschliesslich durch die seitlichen und unteren Wandungen der Zelle Statt, wo die concentrirteren Flüssigkeitsschichten liegen. Giesst man in einem Röhrchen auf eine sehr concentrirte (grüne) Kupferchloridlösung eine Schicht Ferrocyankaliumlösung, so bildet sich an der Berührungsgrenze eine zarte Membran, unterhalb welcher sich die oberste Schicht der grünen Kupferlösung unter geringer Zunahme des Volums bald so weit verdünnt, dass sie blau wird. Dann aber geht die Endosmose so langsam vor sich, dass sie trotz der grossen endosmotischen Kraft des Kupferchlorids fast zu sistiren scheint, weil die oberste Schicht der Kupferlösung sich sehr bald mit Wasser sättigt und als verdünnte Schicht oben bleibt.

Vorstehende Thatsachen dürften geeignet sein, den Einfluss der Schwerkraft auf das Wachsthum selbst einzelliger Pflanzen nach aufwärts zu erklären, um so mehr, als sie in Uebereinstimmung stehen mit noch nicht veröffentlichten Versuchen, die ich vor einigen Jahren an Pflanzen selbst gemacht habe. Ich habe gefunden, dass die Aufwärtsrichtung gekrümmter Terminalknospen an der Stelle stattfindet, wo die bis dahin ziemlich gleichaxigen Zellen sich zu verlängern beginnen und dass die Aufwärtskrümmung horizontal gelegter Pflanzenstengel nur an den Stellen vor sich geht, wo die, noch im Längswachsthum begriffenen Zellen liegen, dass mithin die Aufwärtsrichtung mit dem Längswachsthum der Zellen zusammenfällt. Beide Phänomene scheinen auch in der Pflanzenwelt (ganz ebenso, wie bei künstlichen Zellen) auf derselben Ursache, d. h. in letzter Instanz auf der Wirkung der Schwerkraft zu beruhen.

Breslau, im December 1866.