

Die zweite Fällung wog 0,218 g (= 3. Fraktion) und ergab 0,0502 g Au, 0,0902 g HgS = 0,0777 g Hg.

Gefunden Au 23,03 Proz., Hg 35,67 Proz., mithin einen Amalgamgehalt von 58,7 Proz.

Die zweite Fällung war also, wie zu erwarten, reicher an Lysalbinsäure als die erste, da sich in dem von der ersten Fällung getrennten Sol die Konzentration der Lysalbinsäure erhöht hatte. Die Zusammensetzung des Amalgams dieser Fraktion entsprach genau der Formel Au_2Hg_3 .

Schließlich wurde noch die von beiden Fällungen getrennte, schwachsaure Flüssigkeit, die, wie erwähnt, noch etwas Gold und Quecksilber enthielt, in vacuo eingeeengt, mit ver-

dünnter Natronlauge bis zur beginnenden alkalischen Reaktion versetzt, eine Spur Hydrazin zugegeben und im evakuierten Exsikkator zur Trockne gebracht. Der Rückstand bildete dunkle, matte, in Wasser mit im durchfallenden Licht rotbrauner Farbe kolloidlösliche Krusten (= 4. Fraktion). Sie gaben 0,0059 g Au und 0,011 gr HgS = 0,0094 g Hg, entsprechend der Zusammensetzung $\text{Au}_2\text{Hg}_{3,16}$.

Wie aus den Analysen des in vier Fraktionen zerlegten Kolloids hervorgeht, entspricht das Mengenverhältnis der in den vier Anteilen enthaltenen beiden Metalle fast genau dem ursprünglichen Mischungsverhältnis Au_2Hg_3 . Die Amalgamnatur der nach dem beschriebenen Verfahren dargestellten Kolloide kann somit als festgestellt gelten.

Ueber das Eindringen von Neutralsalzen in das Zellinnere.

Beobachtungen zur Theorie der Plasmahaut.

Von Wilhelm von Moellendorff (Greifswald).

(Eingegangen am 9. September 1918.)

Man hat sich daran gewöhnt, bei der Erforschung der Permeabilitätsfragen die Zelle als einen einheitlichen Stoffkomplex aufzufassen, dessen Oberflächenbeschaffenheit über den Eintritt der Substanzen in das Innere entscheidend wirkt. Diese Auffassung denkt sich die Zelle als einen mit Protoplasma gefüllten Sack, dessen Wandung semipermeabel ist. Das Vorhandensein der sog. Plasmahaut würde ja erst rechtfertigen, von einer Permeabilität für bestimmte Substanzen zu sprechen. Man hat denn auch auf das Problem, wie diese angenommene Protoplasmahaut beschaffen sei, sehr viel Zeit und Gedanken verwandt. Und doch ist bisher eine allen Erscheinungen des Stoffaustausches gerecht werdende Vorstellung nicht gewonnen worden¹⁾.

Abgesehen von den Fällen, in denen die geprüfte Substanz mikroskopisch erkannt werden kann, beziehen sich die meisten Permeabilitätsuntersuchungen, die sich des Mikroskopes bedienen, auf osmotische Erscheinungen. So fand man z. B., daß zahlreiche lipoidlösliche Substanzen nicht plasmolysieren im Gegensatz zu den lipoidunlöslichen Salzen, Zucker usw., die die Zellen osmotisch stark beeinflussen. Unter dem Zwange der Plasmahautvorstellung nahm man an, daß die lipoidlöslichen Sub-

stanzen deswegen osmotisch unwirksam sind, weil sie durch ihren raschen Eintritt in das Zellinnere den erforderlichen Konzentrationsausgleich schnell zustande kommen lassen. Da es nun gar keinem Zweifel unterliegen kann, daß sehr zahlreiche lipoidunlösliche Substanzen, besonders die im Zellenleben unentbehrlichen Salze, Zucker, Eiweiß usw., irgendwie auch in das Zellinnere hineindringen müssen, hat Hoeber neben der oben angedeuteten „physikalischen“ Permeabilität als „physiologische“ Permeabilität den Zellen das Vermögen zugesprochen, je nach Bedarf auch den lipoidunlöslichen Substanzen die Pforten zu öffnen.

Nimmt man die Zelle als Einheit, so widersprechen dieser Auffassung die Ergebnisse der Farbstoffversuche an lebenden Zellen, wie in zahlreichen Arbeiten gezeigt wurde. In vielen pflanzlichen und tierischen Zellen dringen Farbstoffe ein, ohne daß für das Aufnahmevermögen ein Einfluß der Lipoidlöslichkeit gefunden werden konnte. Nicht alle Zellarten verhalten sich gleich; es galt bisher für unklar, warum in einem Teil der Zellen zahlreiche saure Farbstoffe gespeichert werden, während viele andere Zellen bei Darreichung dieser Farbstoffe vollständig farblos bleiben. Vielleicht bringen die Gedankengänge A. Bethes²⁾ die Lösung die-

¹⁾ R. Hoeber, *Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe* (4. Aufl., 1914).

²⁾ A. Bethe, *Wiener med. Wochenschr.* 1916, Nr. 14.

ser Fragen. Dieser Forscher lenkt schon seit vielen Jahren die Aufmerksamkeit auf die Bedeutung der H-Ionen-Konzentration im Zellinnern für die Farbstoffaufnahme. Die letztere wird als Adsorption aufgefaßt, woraus geschlossen wird, daß man für die vitalen Vorgänge die Erfahrungen anwenden muß, die für die Adsorption von Farbstoffen durch kolloide Medien gelten.

Danach wäre zu erwarten, daß durch saure Zellen nur wenig basischer, aber reichlich saurer Farbstoff adsorbiert wird; in neutralen Zellen, zu denen die meisten tierischen und viele pflanzliche Zellen zu rechnen sind, werden basische Farbstoffe gut, saure nur in geringer Menge gespeichert, alkalische Zellen endlich nehmen nur basische Farbstoffe auf.

Von A. Bethe und seinen Schülern werden zahlreiche Beispiele angeführt, die die Gültigkeit der aufgefundenen Beziehungen zu beweisen scheinen. Ich kann Grund meiner persönlichen Erfahrungen noch nicht zu einem abschließenden Urteil kommen. Die Ergebnisse der vitalen Färbung mit sauren und basischen Farbstoffen an der Säugetiemierte sind aber schwer nach A. Bethe's Grundsätzen zu erklären. Die Hauptstückzellen werden hier von beiden Arten von Farbstoffen gleich intensiv bevorzugt, sofern nur die übrigen Bedingungen (vor allem der Dispersitätsgrad) günstig liegen. Die Markanteile der Niere, deren Zellen anscheinend keine sauren Farbstoffe aufnehmen, also nach A. Bethe extrem basisch sein müßten, werden auch durch basische Farbstoffe nur sehr wenig gefärbt. So wird man auch bei dieser Betrachtungsweise zur Annahme spezifischer Anpassungen gedrängt.

Es ist aber sehr wohl möglich, daß die Reaktion der Zellen in vielen Fällen für die Farbstoffaufnahme eine bedeutende Rolle spielt. A. Bethe läßt auch andere Faktoren, wie die Dispersitätsregeln, die Lipoidlöslichkeit, die Oberflächenspannung usw. als wichtig gelten. Während man sonst wohl geneigt war, die vitale Färbung teils nur in Hinsicht auf die Permeabilität der Plasmahaut oder nur unter Berücksichtigung der Speicherung auszuwerten, führen die Bethe'schen Gedankengänge in ein neues Feld, das durch Farbstoffuntersuchungen aussichtsvoll bearbeitet werden kann.

Dadurch werden aber unsere bisher gewonnenen Vorstellungen von der Speicherungsart saurer und basischer Farben nicht berührt. Diese sind, soweit ich sehe, am genauesten fixiert bei gewissen tierischen Zellen (Sternzellen der Leber, Hauptstückzellen der Niere, Klasmatozyten des Bindegewebes). Diese Zellarten speichern sowohl saure wie basische Farben. Sie besitzen nach A. Bethe wahrscheinlich eine saure Reaktion.

Die sauren Farbstoffe werden physikalisch durch allmähliche Konzentrierung (Dis-

persitätsverringering) und deshalb langsamer als die basischen Farbstoffe vakuolär gespeichert. Die letzteren werden an entgegengesetzt geladene Kolloide um so besser verankert, je weniger lipoidlöslich die Farbstoffe sind³⁾. Dieser chemische oder kolloidchemische Vorgang spielt sich schneller ab als die rein physikalisch erfolgende Speicherung saurer Farben. Die Lipoidlöslichkeit der Farbstoffe bedingt dagegen die Färbung des intergranulären Protoplasmas und scheint mit Giftwirkungen der Farbstoffe Hand in Hand zu gehen. Es ergibt sich aus obigem, daß nicht nur lipoidlösliche, sondern auch alle anderen Farbstoffe, sobald sie nur gewissen physikalischen Bedingungen (Dispersitätsgrad) genügen, in die genannten Zellarten eindringen. Bemerkenswert ist jedoch die Diffusfärbung als Begleiterscheinung stärkerer Lipoidlöslichkeit.

Es gelingt nun überraschend leicht und — wie mir scheint — eindeutig nachzuweisen, daß auch Neutralsalze in diese Zellen ungehindert und äußerst rasch eindringen und trotzdem osmotisch wirksam sind.

Die Experimente stützen sich auf gelegentliche ältere Beobachtungen und stammen vom Frühjahr 1918.

Das Material bestand aus Kaulquappen von *Rana fusca*, die ich seit nunmehr fünf Sommern zu Färbungsversuchen verwende. Setzt man die Quappen sofort nach dem Verlassen der Gallerthülle in eine Trypanblaulösung 1:10000, so entwickeln sie sich weiter, ohne daß gegenüber dem normalen Entwicklungsgang, abgesehen von der typischen Farbstoffspeicherung, Abweichungen beobachtet werden. Zu den Versuchen, die ich jetzt beschreiben will, eignen sich am besten Tiere, bei denen die äußeren Kiemenbüschel durch die Bildung des Kiemendeckels eben verschwunden sind. Bei solchen Tieren findet man in den Sternzellen der Leber und in den Hauptstückzellen der Vorniere genügend Farbstoff gespeichert, um die Versuchsergebnisse gut beobachten zu können. Mit zwei Nadeln wird die Leber rasch herauspräpariert und zunächst ohne Zusatz mit Oelimmersion betrachtet. Ich verwandte die apochr. Imm. 2 mm und Co. Oc. 4 von Zeiss.

Wichtig ist es, sich vor dem Zusatz einer Salzlösung von dem Aussehen der Farbstoffvakuolen in jedem Falle zu überzeugen, weil individuelle Schwankungen sehr häufig vorkommen. Gewöhnlich liegen in dem oben bezeichneten Stadium in den Zellen zahlreiche verschieden große, homogen aussehende, blaugefärbte kugelige Farbstofftropfen. Selten sind schon einzelne Vakuolen inhomogen geworden. Nach den Untersuchungen von W. Schulemann⁴⁾

³⁾ W. von Moellendorff, Arch. mikr. Anat. 90, 463—502 und 503—542, (1918).

⁴⁾ H. Evans und W. Schulemann, Fol. haem. Arch. 19, 207—219 (1915); W. Schulemann, Biochem. Zeitschr. 80, 1—142 (1917).

und W. von Moellendorff^{b)} entstehen die Farbstoffvakuolen in der Regel als Neubildungen in der Zelle, wobei eine zuerst schwach konzentrierte Farbstofflösung durch ständigen Zutritt neuer Teilchen der dispersen Phase konzentriert wird. Hierbei kommt es allmählich zu einer auch mikroskopisch sichtbaren Dispersitätsverringering: in der zuerst homogenen Farbstoffvakuole entstehen unregelmäßig geformte Flecken; schließlich führt dieser Vorgang zur Bildung eines „festen“ Granulums, das also durch Dispersitätsverringering innerhalb der Vakuole entsteht. Die Be- weise für diese Auffassung siehe in den oben er- wählten Arbeiten.

Ich fand nun, daß man diese allmählich eintretende Dispersions-Verringerung durch Zusatz von Salzlösungen unter dem Mikroskop fast momentan hervorrufen kann.

Der Zusatz von 0,32 prozentiger Kochsalzlösung (sie ist für Kaulquappengewebe annähernd isotonisch) ändert an der Gestalt der Zellen und ihrer Granula in diesem Stadium nichts. Die Granula behalten ihr homogenes Aussehen.

Bei fortdauernder Beobachtung ersetzte ich nun die Kochsalzlösung durch eine annähernd isotonische Lösung eines anderen Salzes, indem ich diese Lösung mit Fließpapier durch das Präparat durchsaugte.

1. Zusatz von Urannitrat: zu gleichen Teilen werden 0,65 prozentige Kochsalzlösung und eine $\frac{1}{1000}$ molekulare Lösung von Uran-

nitrat gemischt. Die osmotische Wirksamkeit dieser Mischung ist annähernd derjenigen einer 0,32 prozentigen Kochsalzlösung gleich. Tatsächlich ändert sich auch bei dem Zusatz der Urannitrat-Kochsalzmischung die Zellengestalt nicht. Dagegen sind in wenigen Sekunden sämtliche Granula so vollkommen ausgeflockt, daß man innerhalb jeder Vakuole eine Anzahl unregelmäßig begrenzter und intensiv gefärbter Flocken erkennt, die von einer scharf gegen das Protoplasma abgegrenzten Vakuole umgeben sind und sich in ihr noch eine zeitlang träge bewegen.

Etwas langsamer und weniger vollständig flocken die Farbstofftropfen aus, wenn die Kochsalzlösung mit $n/10000$ Urannitrat gemischt wird. Es werden auch Flocken in der Vakuole sichtbar, sie sind aber in der Regel noch von einer hellblauen Vakuolenflüssigkeit umgeben, zum Zeichen, daß ein Teil des blauen Farbstoffes nicht zu Mikronen zusammengetreten ist.

2. Zusatz von Mangansulfat (0,65 prozentige NaCl + $n/100$ $MnSO_4 \cdot 5H_2O$): das Ergebnis

entspricht vollständig den Vorgängen bei Urannitratzusatz; auch hier ist die Ausflockung bei Verwendung schwächerer Lösung unvollkommen. Die $n/1000$ Lösung hat einen bedeutend geringeren Einfluß auf den Vakuoleninhalt als die oben erwähnte Lösung.

3. Kalziumsulfat entspricht im Sinne und der Stärke der Wirkung vollständig dem Mangansulfat.

4. Natriumchlorid: es wurde oben hervorgehoben, daß die isotonische Kochsalzlösung (0,32 prozentig) in der Regel eine Veränderung in dem Aussehen der Farbstoffvakuolen nicht hervorruft. Daß dennoch NaCl dispersitätsverringend wirkt, erkannte ich zunächst in vereinzelten Fällen, in denen die Konzentration der Granula schon so hoch war, daß die Ausflockung in einzelnen Granulis schon begonnen hatte. Hier verstärkte der NaCl-Zusatz die Ausflockung bedeutend.

Sehr viel deutlicher wird dieser Einfluß des NaCl erst bei Anwendung höherer Konzentration. Das Bild wird hierbei nur verwickelter, weil dann gleichzeitig der osmotische Einfluß die Zellengestalt verändert.

Auch 0,65 prozentige Kochsalzlösung ruft die Ausflockung nur in solchen Granulis hervor, die schon sehr konzentriert sind, während die unter 1—3 genannten Salze die Reaktion auch bei ganz hellen Vakuolen sofort hervorrufen. Kochsalz scheint also weniger wirksam zu sein als die anderen Salze.

Urannitrat	wirkt deutl. in der Konzentration	$n/10000$
Mangansulfat	„ „ „ „ „	$n/1000$
Kalziumsulfat	„ „ „ „ „	$n/1000$
Natriumchlorid	„ „ „ „ „	$n/10$

Wir kommen auf diese Reihenfolge unten noch zurück.

Im weiteren Verlaufe der Einwirkung einer hypertonen Kochsalzlösung schrumpfen die Zellen unter Wasserverlust beträchtlich. Hierbei rücken die Farbstoffvakuolen bedeutend dichter zusammen, so daß sie im Zelleib nicht mehr so deutlich von einander abgrenzbar sind wie vorher. Ein wesentlicher Teil der Schrumpfung betrifft also das zwischen den Farbstoffvakuolen liegende Protoplasma. Bei stark hypertonen NaCl-Lösungen (0,9 prozentig) wird allerdings auch der Umfang der Vakuolen selbst erkennbar verringert. Ich habe aber immer den Eindruck gehabt, daß dies eine sekundäre Folge der Protoplasmaschrumpfung ist, in dem das allseitig an Volumen verringerte Protoplasma auf den Vakuoleninhalt preßt, so daß aus diesem Flüssigkeit ausgedrückt wird,

^{b)} W. von Moellendorff, Koll.-Zeitschr. 18, 81—90 (1916).

wenn man sich den Vorgang ganz roh vorstellen will.

Man könnte nun denken, die Ausfällung der sauren Farbstoffe wäre auch in den anderen Fällen die Folge geringer Schwankungen des osmotischen Druckes, die durch geringe Hyperisotonie der Lösungen hervorgerufen wäre. Das trifft jedoch nicht zu; denn wenn man beispielsweise eine reine $n/100$ Lösung von Mangansulfat anwendet — eine Lösung, die stark hypotonisch ist — so kommt die Ausflockung des sauren Farbstoffes geradeso zustande, obgleich die Hypotonie dieser Lösung die Zellen stark aufschwellen läßt. Die Ausflockung des Trypanblau wird also zweifellos durch die Salze verursacht.

Bei der Kürze der mir zur Verfügung stehenden Zeit mußte ich mich auf die angeführten Versuche beschränken. Sie scheinen mir aber so bedeutsam zu sein, daß ich sie kurz veröffentlichen möchte. Lehren sie doch in überraschend einleuchtender Weise, daß Neutralsalze entgegen der zumeist geäußerten Ansicht, leicht und offenbar völlig ungehindert das Zellinnere durchsetzen können. Daß die Veränderung in der Dispersität der intrazellulären Farbstofftropfen von der Zufuhr der Salze hervorgerufen wird, dürfte keinem Zweifel unterliegen. Es ist sogar möglich, nach den bisherigen Kenntnissen, die Art dieses Salzeinflusses näher zu präzisieren.

Der Einfluß der Elektrolyte auf die Semikolloide, zu denen nach R. Zsigmondy⁶⁾ die hochmolekularen Farbsäuren gehören, ist ja bekannt und besonders von W. Biltz⁷⁾ genauer untersucht. Danach vermehrt steigender Elektrolytzusatz die Assoziationsfähigkeit der Moleküle, so daß sie zu größeren Aggregaten zusammentreten.

Bei Heranziehung einer größeren Zahl von Salzen zu diesen Versuchen würde man vermutlich eine ähnliche Abstufung der Fällungskraft finden, wie sie etwa für das negative Suspensionskolloid Arsensulfid von H. Freundlich festgestellt wurde (zit. nach R. Hoerber, loc. cit. 282). Die obige Zusammenstellung meiner Ergebnisse lehrt in Uebereinstimmung mit den allgemeinen Erfahrungen, daß das dreiwertige Uranion stärker wirkt als die zweiwertigen Ca- und Mn-Ionen, diese wieder an Fällungskraft das einwertige Na-Ion bedeutend übertreffen. Es bleibt abzuwarten, ob sich diese

Uebereinstimmung bei einer Untersuchung mit einer größeren Zahl von Salzen weiter begründen läßt.

Danach dürfte der Vorgang der intrazellulären Farbstoffausflockung durch Elektrolyte hinreichend gestützt sein. Es bliebe nur noch der beliebte Einwand zu entkräften, daß die Lebensfähigkeit der Zellen, da aus dem Tierkörper entnommen, geschwächt, mithin eine Veränderung in der Oberflächenbeschaffenheit möglicherweise eingetreten sei. Dieser Einwand ist hinfällig: wir wissen, daß die Sternzellen, selbst bei Warmblütern, noch längere Zeit nach ihrer Entnahme aus dem Körper phagozytieren; ich selbst habe an den Sternzellen von Kaulquappen amöboide Bewegungen eingehend beobachtet. Es wäre gekünstelt, wollte man nach diesen Erfahrungen eine Veränderung der Permeabilität annehmen.

Noch einen anderen Beweis gibt es dafür, daß die Zellen kaum ihre „Permeabilität“ geändert haben; das ist ihre völlig normale osmotische Reaktionsfähigkeit. Wollte man nämlich annehmen, daß das Eindringen der Salze und ihre Wirksamkeit auf die intrazellulären Farbstofftropfen auf einer „abnormen Durchlässigkeit“ der Plasmahaut beruhe, so müßten nach der Plasmahauttheorie die osmotischen Wirkungen auf die Zellen ausbleiben. Das ist aber, wie oben mehrfach erwähnt, keineswegs der Fall. Unbeschadet des Eindringens wirken je nach ihrer Konzentration die Salze schwellend oder schrumpfend auf das Zellenprotoplasma ein.

Diese bedeutsame Tatsache lehrt uns — ich halte diesen Schluß für zwingend — daß Permeabilität, in dem bisher gebrauchten Sinne als Durchlässigkeit der Zelloberfläche und osmotische Wirksamkeit zwei vollständig von einander zu trennende Begriffe sind. Ein Stoff kann ungehindert in das Zellinnere eindringen und trotzdem einen starken osmotischen Einfluß auf das Protoplasma ausüben.

Für die untersuchten Zellarten dürfte damit die Annahme einer irgendwie semipermeablen Zelloberfläche hinfällig sein. Die oben geschilderten Versuche lehren, daß die leicht diffusiblen Salze fast momentan in die lebenden Zellen eindringen und ihre charakteristische Wirkung auf die kolloiden Farbstoffe ausüben. Daß die Sternzellen sich trotzdem nicht etwa anders verhalten als die allgemein angenommenen Permeabilitätsregeln erwarten lassen, lehrt die osmotische Beeinflussbarkeit auch dieser Zellen durch die Salze: sie schwellen und schrumpfen unter dem Einfluß verschiedener

⁶⁾ R. Zsigmondy, Kolloidchemie (Leipzig 1912).

⁷⁾ W. Biltz, Zeitschr. f. phys. Chem. 68, 357 (1909) [zit. nach W. Schultemann, loc. cit. (1917)].

Konzentrationen ebenso wie beliebige andere Zellen.

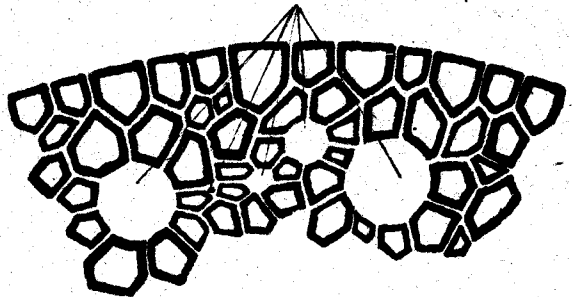
Wir stehen also vor der Tatsache, daß wenige optisch kontrollierte Experimente einen großen, aus physiologischen Experimenten gewonnenen Vorstellungskomplex bedrohen. Es war von vornherein nur natürlich, die Ursachen, die ein Auswählen bestimmter Substanzen für die Aufnahme ins Protoplasma ermöglichen, in die Zelloberfläche zu verlegen. Wir sehen nun, daß es kein Zufall war, daß einer großen und fruchtbaren Theorie der Stoffaufnahme, der sogenannten Lipoidtheorie, gerade mikroskopisch-physiologische Befunde gewichtig widersprachen. Waren es doch gerade die Ergebnisse der vitalen Färbung mit lipoidunlöslichen, sauren Farbstoffen, die den Gegnern der Lipoidtheorie eine bedeutende Stütze lieferten. Diese Stütze ist jedoch, wie sich nun herausstellt, auch trügerisch. Die Bedeutung der Lipide liegt eben offenbar gar nicht darin begründet, daß sie eine semipermeable Plasmahaut bilden, sondern in ihrem Vorhandensein im Zellinnern. Denn wir erkennen, daß auch den Salzen, trotz ihrer osmotischen Wirksamkeit, der Eintritt in das Zellinnere offen steht. Ich betonte schon in einer früheren Arbeit⁸⁾, daß die Zusammenhänge zwischen Lipoidlöslichkeit und Diffusfärbung basischer Farbstoffe auf eine Bedeutung der Lipide für die Stoffaufnahme hindeuten.

Meine jetzigen Ergebnisse können der Lipoidtheorie eine, wenn auch negative Stütze geben, indem sie die Plasmahaut aus dem Vorstellungskomplex der Permeabilitätsfragen streichen. Das Zellinnere ist nach meiner Vorstellung von einem Straßennetz durchzogen (siehe die Abb.), das an allen Teilen der Zelloberfläche frei ausmündet. Nur so ist es zu erklären, daß offenbar alle Substanzen befähigt sind, in das Zellinnere einzudringen. Von den lipoidlöslichen Stoffen ist das allgemein bekannt; unter den lipoidunlöslichen Stoffen wissen wir es bestimmt von Salzen und kolloiden Farbstoffen. Es besteht kein Grund, für andere Substanzen Ausnahmen anzunehmen. Mit dem Eindringen in das Zellinnere ist den Substanzen Gelegenheit gegeben, mit allen Strukturelementen desselben in innige Berührung zu treten.

Wir können uns das Protoplasma als Emulsion vorstellen, wobei als Dispersionsmittel Wasser, als disperse Phase Tropfen in Betracht kommen, deren Hülle semipermeabel ist. Eine

Schaumstruktur entsteht in einer Emulsion dann, wenn die disperse Phase derartig überwiegt, daß die einzelnen Tropfen sich aneinander abplatteten. Dann ist in dem System auch diejenige Spannung verwirklicht, die zur Aufrechterhaltung der Form bei mechanischen Einwirkungen von der Oberfläche aus notwendig ist [L. Rhumbler]⁹⁾. Die einzelnen Tropfen werden aber immer durch eine, wenn auch sehr geringe Schicht von Dispersionsmittel von einander getrennt. Diese Schicht — in der schematischen Zeichnung hell gelassen — ist identisch mit dem Straßensystem, das ich oben erwähnte und das überall an der Zelloberfläche frei ausmündet.

Vakuolen in verschiedenen Stadien der Ausbildung.



Hypothetisches Schema über den Bau der Zelloberfläche.

Zwischen den schwarz umrandeten Schaumwaben sind, hier übertrieben breit dargestellte, helle Straßen ausgebildet, die von einer wässrigen Flüssigkeit erfüllt sind. In dem Straßennetz können Vakuolen entstehen, z. B. bei der Zufuhr speicherbarer saurer Farbstoffe. Die Schaumwaben haben eine Hülle, die namentlich aus Lipiden und Eiweißstoffen zusammengesetzt ist und besitzen eine Salze enthaltende Flüssigkeit in ihrem Innern.

Aus der Art der Salzwirkung ergibt sich nun mit Sicherheit, daß die Farbstoffvakuolen als Teile des Straßensystems anzusehen sind, d. h. mit der Oberfläche in freier Verbindung stehen. Zu ihnen haben die Salze ungehinderten Zutritt. Da die Salze trotzdem ihre charakteristische osmotische Wirksamkeit entfalten, muß ein Teil der Zelle für sie unzugänglich sein. Die Annahme der Schaumstruktur läßt das Verhalten der Salze sehr leicht verständlich erscheinen. Jeder einzelne Tropfen der dispersen Phase besteht aus einer semipermeablen Hülle, die man sich verschieden stark vorstellen kann; im Innern jedes Tropfens

⁸⁾ W. von Moellendorff, Arch. mikr. Anat. 90, 533.

⁹⁾ L. Rhumbler, Zeitschr. allgem. Physiol. 1, 279—388 (1902).

muß eine wässrige Salzlösung vorhanden sein, deren Salze die osmotische Reaktionsfähigkeit der Zelle ermöglichen. Nach F. Hofmeister¹⁰⁾ wären auch die Fermente in das Innere des Tropfens eingeschlossen.

Zu einer ganz ähnlichen Vorstellung kam L. Rhumbler 1902, 379: „Da nun die Alveolenwände für Wasser durchlässig, für viele gelöste Substanzen halbdurchlässig sind, und der Alveoleninhalt gelöste Substanzen enthält, so muß in jeder Zellalveole ein gewisser osmotischer Druck zustande kommen. Dieser osmotische Druck in jeder Einzelalveole wird innerhalb des ganzen Alveolengefüges, soweit dieses im Gleichgewicht ist, überall derselbe sein; denn, wird in einer Alveole der osmotische Druck durch Auftreten einer neuen löslichen Substanz größer, so wird sogleich ein Wasserausgleich mit den Nachbaralveolen stattfinden und dadurch der osmotische Druck wieder auf eine gemeinsame Höhe zurückgebracht“.

Ich will mich mit diesem Hinweis auf die Folgerungen begnügen, die sich aus den Ver-

¹⁰⁾ F. Hofmeister, Die chemische Organisation der Zelle, Naturw. Rundsch. 1901, 581 (zit. nach R. Hoeber, loc. cit. 731).

suchen ergeben. Mit der Annahme einer semi-permeablen Plasmahaut sind die Ergebnisse unvereinbar. Das durch die Abbildung ange-deutete Schema der Protoplasmagrundstruktur soll ebenfalls nur als Anregung dienen, eine morphologische Vorstellung von den physikalischen Vorgängen des Zellenlebens auszubauen. In späteren ruhigen Zeiten ist es mir vielleicht vergönnt, meine Vorstellungen vom physikalischen Bau der Protoplasma eingehend zu begründen.

Zusammenfassung.

1. Es gelingt, saure Farbstoffe intrazellulär zur Ausflockung zu bringen.
2. Diese Ausflockung ist identisch mit der Wirkung von Neutralsalzen auf Semikolloide und wird als Dispersionsverringering charakterisiert.
3. Der Vorgang beweist die Permeabilität der Zelloberfläche für Neutralsalze.
4. Die osmotischen Vorgänge spielen sich im Zellinnern ab.
5. Die gewonnenen Vorstellungen stehen im Einklang mit der Theorie von der Schaumstruktur des Protoplasmas.

Zur Theorie der Koagulationsgeschwindigkeit.

Von H. Freundlich (Berlin-Zehlendorf). (Eingegangen am 1. Sept. 1918.)

Unsere Kenntnis der Koagulation und Koagulationsgeschwindigkeit hydrophober Sole, wie der der Metalle, der Sulfide, des $\text{Fe}(\text{OH})_3$, des $\text{Al}(\text{OH})_3$ u. a. ist neuerdings durch Arbeiten von R. Zsigmondy¹⁾ und M. v. Smoluchowski²⁾ sehr erheblich erweitert worden. Bis dahin konnte man sich von diesem Vorgang etwa folgendes Bild machen: Voraussetzung für das Zusammentreten der Kolloidteilchen solcher Sole ist ihre Entladung; sie braucht nicht völlig zu sein, es genügt, wenn ein gewisser Mindestwert der Ladung erreicht wird³⁾. Die Entladung wird durch den Zusatz eines Elektrolyten bewirkt, und zwar ist in erster Linie dasjenige

Ion des Elektrolyten von Einfluß, dessen Ladung der der Kolloidteilchen entgegengesetzt ist. Es scheint stets eine Aufnahme dieses wirksamen Ions durch die Kolloidteilchen stattzufinden, die nach ihrer Umkehrbarkeit und Abhängigkeit von der Konzentration und der Natur des Elektrolyten der Adsorption ähnelt⁴⁾. Wie weit diese Aufnahme wirklich eine Oberflächenverdichtung ist, wie weit sie als „elektrische Adsorption“ aufzufassen ist, wird erst die immer noch fehlende ausführliche Untersuchung der Aufnahme von Elektrolyten — und zwar sowohl der Anionen wie der Kationen — durch fein verteilte amorphe Stoffe lehren. Jedenfalls wird nach den bisherigen Erfahrungen der gleiche Grad der Entladung und damit die gleiche Koagulationsgeschwindigkeit erreicht, wenn äquivalente Mengen des wirksamen Ions aufgenommen

¹⁾ R. Zsigmondy, Nachr. d. Königl. Gesellsch. d. Wissensch. Göttingen 1917, 1; Zeitschr. f. Elektrochem. 23, 148 (1917).

²⁾ M. v. Smoluchowski, Zeitschr. f. physik. Chem. 92, 129 (1917); Koll.-Zeitschr. 21, 98 (1917); Physik. Zeitschr. 17, 587 (1916).

³⁾ F. Powis, Zeitschr. f. physik. Chem. 89, 179 (1915).

⁴⁾ H. Freundlich, Zeitschr. f. physik. Chem. 73, 385 (1910); H. Freundlich u. H. Schucht, Zeitschr. f. physik. Chem. 85, 641 (1913); J. A. Gann, Kolloidchem. Beih. 8, 64 (1916).