Kolloid-Zeitschrift

Zeitschrift für wissenschaftliche und technische Kolloidchemie

(früher „Zeitschrift für Chemie und Industrie der Kolloide“)

Organ für das Gesamtgebiet der reinen und angewandten Kolloidchemie

Herausgegeben von

Prof. Dr. Wolfgang Ostwald in Leipzig, Brandvorwerkstraße 77

Erscheint monatlich 1 mal

Verlag von THEODOR STEINKOPFF
Dresden und Leipzig

Preis für den Band M. 16.

Die Speicherung saurer Farben im Tierkörper, ein physikalischer Vorgang.

Von Wilh. v. Moellendorff (Greifswald).

(Eingeg. am 23. Februar 1916.)

(Aus dem Anatomischen Institut zu Greifswald.)

Die neueren Untersuchungen über die Einwirkung von Farbstoffen auf lebende Gewebe haben als Grundvorstellung die Notwendigkeit ergeben, die Wirkung saurer Farbstoffe von derjenigen basischer getrennt zu betrachten. Siehe dazu besonders R. Hoeber (Physik. Chemie der Zelle und der Gewebe, 4. Aufl.); viele Irrtümer der älteren Literatur lassen sich durch die Außerachtlassung dieses Hauptsatzes erklären. Die Unterschiede in der Wirkung der beiden Gruppen von Farbstoffen, die den Hauptgegenstand dieser Mitteilung ausmachen, kommen teils bei Betrachtung der Permeabilitätsfrage, teils beim Studium ihres Verhaltens im Inneren der Zellen in Betracht.

Die Permeabilität ist bei sauren Farbstoffen sicherlich in erster Linie abhängig von der Diffusibilität der Farbstoffe, ein Ergebnis, das von der Hoeber'schen Schule¹⁾ zuerst aufgedeckt, durch die Forschungen Küster's²⁾ und Ruhland's³⁾ erhärtet, von v. Moellendorff⁴⁾ neuerdings an der Niere eingehend begründet wurde. J. Traube⁵⁾ weist

neuestens auf ein bislang noch nicht berücksichtigtes Phänomen hin, auf den Vorgang der Quellung; Farbstoffe, die quellend auf Gelatine einwirken, sollen danach leichter permeabel, entquellende Farbstoffe dagegen leichter speicherbar sein. Inwieweit diese Vorgänge in unserem Gebiete wirklich in Betracht kommen, entzieht sich vorläufig, vor der Vornahme besonderer Versuche, meiner Beurteilung. Ich möchte aber darauf hinweisen, daß Traube die hohe Bedeutung der Diffusibilität nicht anzweifelt.

An dieser Stelle möchte ich eine kurze Einschaltung machen, die sich auf die Technik der Diffusibilitätsmessung bezieht. Im wesentlichen kommen hier ja zwei leicht ausführbare Methoden für den Biologen in Betracht, die Messung der Diffusionsgeschwindigkeit in Gelatine oder anderen Kolloiden und die Dialyse. Neuerdings wird im allgemeinen der Geldiffusion eine größere Bedeutung zugebilligt. So sind neuerdings, um nur Beispiele anzuführen, von Ruhland, Traube, H. M. Evans, W. Schulemann und F. Wilborn⁶⁾ größere Reihen von vergleichenden Messungen der Diffusionsgeschwindigkeit in Gelatine ausgeführt worden.

Demgegenüber sind die Angaben über Dialyse von Farbstoffen relativ gering. Im Ganzen genommen, unterscheiden sich die beiden Verfahren durch die Dicke der Filtermembran, die

¹⁾ R. Hoeber u. J. Kempner, Biochem. Zeitschr. 11, 105 (1908); R. Hoeber u. S. Chassin, Koll. Zeitschr. 3, 76 (1908); R. Hoeber, Biochem. Zeitschr. 20, 56—99 (1909).

²⁾ E. Küster, Jahrb. f. wissensch. Bot. 50, 261—288 (1911).

³⁾ W. Ruhland, Jahrb. f. wissensch. Bot. 51, 376—431 (1911).

⁴⁾ W. v. Moellendorff, Anat. Hefte 53, 87—323, (1915).

⁵⁾ J. Traube u. F. Köppler, Internat. Zeitschr. f. phys.-chem. Biol. 2, 197—226 (1915).

⁶⁾ H. M. Evans, W. Schulemann und F. Wilborn, Deutsch. med. Wochenschr. 1914, Nr. 30.

bei der Methode der Geldiffusion als unbegrenzt, bei der Methode der Dialyse als durch die Dicke des Dialyserschlauches gegeben zu betrachten ist. Dem biologischen Versuche scheint doch die dialytische Methode bedeutend näher zu kommen; es handelt sich doch im Organismus stets um die Frage, ob aus einer mit Farbstoff beschickten Flüssigkeit (Blut oder Lymphe) durch eine dünne Schicht (Zellmembran oder ganzes Epithel wie beim Glomerulus der Niere) Farbstoff in ein durch diese Grenzschichte abgetrenntes Medium übertreten kann (Zellprotoplasma oder event. durch ein Epithel in andere Flüssigkeiten wie Harn oder Galle).

Es kommt hierbei neben einer Kenntnis der Diffusionsgeschwindigkeit vor allem auch darauf an, zu wissen, in welcher Konzentration der Farbstoff diffundiert. Dies haben besonders meine Nierenversuche ergeben. Die Methoden der Geldiffusion geben hiervon kein anschauliches Bild, es scheint sehr wohl vorzukommen, daß ein Farbstoff auf Grund des Gehaltes an kleinsten Teilchen — bekanntlich sind in jeder Farbstofflösung verschieden große Molekülkomplexe enthalten — sehr rasch einen weiten Weg in der Gelatine zurücklegt, also eine große Diffusionsgeschwindigkeit besitzt, während es eben nur ein relativ kleiner Prozentsatz der in der Lösung enthaltenen Teilchen ist, die diffundiert sind. Hier zeigt dann der Dialyserversuch, daß anfänglich eine rasche Dialyse in Gang kommt, daß aber die Endkonzentration des Dialysates eine relativ niedrige ist. Der biologische Versuch zeigt in meinen eingehenden Messungen der Nierenausscheidung und der Exkretion in der Galle eine gute Uebereinstimmung mit den durch die dialytische Methode gefundenen Werten.

Diese Werte können durch Abschätzung der Endkonzentration des Dialysates im Vergleich mit der entsprechend verdünnten Originallösung leicht ermittelt werden (siehe v. Moellendorff, 1915). Maßgebend für die Anwendbarkeit der Dialysiermethode ist die Beschaffung einwandfreien Filtermaterials; solches scheinen mir, soweit meine Erfahrung reicht, die von Abderhalden geprüften Dialyserschläuche der Firma Schöeps Halle a. S. darzustellen. Besondere Empfehlung verdienen diese Schläuche auch deshalb, wie mir scheint, weil sie übereinstimmen mit der von mir gemessenen Permeabilität der Exkretionsstelle in der Leber (siehe v. Moellendorff, Zeitschr. f. allg. Physiol. im Erscheinen).

Die Messung der Geldiffusion ist also deswegen für den Biologen weniger empfehlens-

wert, weil die Konzentration, in der der Farbstoff diffundiert, nur roh abgeschätzt werden kann, andererseits die Diffusionskonzentration zur Beurteilung des Farbstofftransportes im tierischen Organismus von großer Bedeutung ist. Dabei wird abgesehen von den mannigfachen Schwierigkeiten in der Beurteilung der Geldiffusion, die sich aus der Beschaffenheit der Gelatine, der Einwirkung der Farbstoffe auf dieselbe usw. ergeben, Schwierigkeiten, die jeder Forscher kennt, der sich mit einer größeren Zahl von Messungen abgegeben hat. Mir steht eine Erfahrung von Messungen an zirka 120 Farbstoffen zur Verfügung.

Bezüglich der basischen Farbstoffe liegen die Verhältnisse zweifellos komplizierter. Ob die Lipoidlöslichkeit der basischen Farbstoffe für ihr Eindringen von Bedeutung ist, wie seit E. Overton vielfach angenommen wird, ist zum mindesten schon deshalb sehr unsicher, weil sicherlich basische Farbstoffe vorhanden sind, die trotz völliger Unlöslichkeit in den lipoiden Substanzen in viele Zellen einzudringen vermögen; vor allem muß immer wieder in Rechnung gezogen werden, daß die basischen Farbstoffe, die überhaupt färben, in fast alle Zellen einzudringen vermögen, und dort granuläre Färbungen hervorzurufen imstande sind, auch dort, wo saure Farben nicht angetroffen werden, z. B. in der Mehrzahl der Epithelzellen. Noch heute ist die Frage nicht entschieden, wieviel von diesen abweichenden Versuchsergebnissen auf Rechnung einer verschiedenartigen Permeabilität, wieviel, auf Rechnung der gänzlich verschiedenen Speicherungsbedingungen basischer und saurer Farbstoffe zu setzen ist. Ehe mit Sicherheit angenommen werden kann, daß die Löslichkeit in Lipoiden den Farbstoffeintritt in die Zellen begünstigt oder gar in vielen Zellen erst ermöglicht, sind eingehende Versuche an einer großen Reihe von Farbstoffen notwendig, die neben dem Grade der Basizität vor allem auch den Grad der Lipoidlöslichkeit berücksichtigen; bisher liegen befriedigende Ergebnisse in dieser Frage nicht vor. Der Tierbiologe wird jedenfalls vorderhand Hoeber Recht geben, wenn er vor der Einfachheit der Ruhland'schen Anschauung warnt, der bezgl. der Permeabilität für basische und saure Farbstoffe die gleiche Abhängigkeit von der Diffusibilität annimmt; bei der allgemein zugegebenen Schwierigkeit der Frage müssen eingehende Untersuchungen auch an tierischem Material einer derartigen Verallgemeinerung vorausgehen.

Mir scheint nun, daß vor der Beurteilung dieser nur angedeuteten Kardinalfrage die Frage der Speicherung der Farbstoffe in den Zellen erledigt werden müßte. Diese schafft eine solide Basis für die Beurteilung der Transportverhältnisse und ist, wie mir scheint, einer Lösung nahe. Eine eingehende Besprechung der Literatur liegt nicht im Plane dieser Veröffentlichung, sie ist teilweise anderen Orts geschehen, teils behalte ich mir vor, in einem kritischen Sammelreferat in Merkel-Bonnet's Ergebnissen der Anatomie die vollständige Zusammenstellung der Literatur zu geben.

Die Speicherung saurer Farbstoffe im tierischen Organismus darf als im wesentlichen geklärt betrachtet werden. Als Hauptpunkte kommen für ihr Verständnis in Betracht: 1. Saure Farbstoffe von kolloiden Eigenschaften lagern sich nur dann in Zellen ab, wenn sie eine nicht zu kleine Teilchengröße besitzen; sehr diffusible Farbstoffe durchströmen die Zellen, ohne ein Hindernis in der Struktur des Zellenprotoplasmas zu finden. 2. Die Ablagerung saurer Farbstoffe in den Zellen erfolgt bei geeigneter Zuführung um so rascher, je größer die in der Lösung vorhandenen Teilchen, je geringer also die Dispersität der Farbstofflösung ist. 3. Bei sehr grob dispersen Stoffen (hierzu sind auch ungefärbte Suspensionen zu rechnen, wie Bakterien, tote Zellen, Tusche, sobald die Teilchen anodisch sind [Schulemann und H. M. Evans⁷⁾]), erfolgt die Aufnahme der einzelnen Substanzteilchen in das Zellenprotoplasma, ein Vorgang, der von vielen Zellen als Phagozytose bekannt ist. 4. Die Aufnahme von Stoffen, in denen eine feinere Verteilung der Teilchen vorherrscht, ist komplizierter; es bilden sich zunächst feine Tröpfchen im Protoplasma, in denen eine schwachkonzentrierte Lösung des Farbstoffes enthalten ist, die bei dauernder Farbstoffzufuhr an Konzentration allmählich zunimmt. Bei einer für die einzelnen Farbstoffe charakteristischen Grenze flokt, in der Vakuole Farbstoff aus, ein Vorgang, der bis zur Umformung des Tropfens zu reiner Farbstoffsubstanz fortschreiten kann. 5. Im Falle 3 wie im Falle 4 tritt die Ablagerung in Räumen ein, die erst durch den Eintritt des Farbstoffes geschaffen, also nicht präformiert sind. Es handelt sich nicht um die Wirkung einer chemischen Affinität, sondern um eine, physikalischen Gesetzen folgende Ablagerung des Farbstoffes. 6. Die

Ablagerung der sauren Farbstoffe folgt im Organismus der Verteilung einer Reihe physiologisch wie pathologisch bekannter Substanzen, gibt also wertvolle Aufschlüsse über die Bedeutung der Verteilungsgesetze jener Substanzen, (Pigment, Kohle, Bakterien usw.).

Begründung zu Satz 1 und 2:

In gleichzeitiger Arbeit kamen Schulemann, Evans u. Wilborn (1914) u. v. Moellendorff (1914/15) zur Formulierung dieser Sätze, nachdem die allgemeine Bedeutung der Dispersität saurer Farbstoffe für ihr biologisches Verhalten von Hoeber erkannt, von Ruhland und E. Küster für die Pflanzen genauer ausgearbeitet war. Die Botaniker fanden, daß die Aufnahmegeschwindigkeit umso größer ist, je disperser der Farbstoff ist, wodurch bei der großen Zahl der verwandten Farben eigentlich jeder Zweifel an der Bedeutung der Dispersität für das Eindringen der Farben in die Pflanzenzellen behoben ist, sofern es sich, wie oben näher erwähnt, um saure Farbstoffe handelt. Hoeber formulierte die Ergebnisse seiner im Verein mit J. Kempner und S. Chassin an der Froschniere erhobenen Befunde in folgenden Sätzen (siehe Chassin⁸⁾): „Wenn ein Farbstoff von den Nierenepithelien nicht oder schlecht aufgenommen wird, dann ist er hochkolloid. Wenn ein Farbstoff wenig oder nicht kolloid ist, wird er leicht aufgenommen.“ Die genauere Untersuchung der Ausscheidung der Farbstoffe in den Nieren [v. Moellendorff⁹⁾, 1914/15] ergab an Mäusen interessante, das Wesen der Färbung mit sauren Substanzen bezeichnende Aufschlüsse. Vor allem ergab sich die Abhängigkeit der Speicherung als etwas abweichend von der Hoeber'schen Ansicht insofern, als die diffusibelsten Farbstoffe rasch in großer Konzentration die Niere durchströmen, ohne eine granuläre Speicherung zu hinterlassen, daß eine solche erst von einer bestimmten Stufe der Dispersität ab erfolgt. Dies war die Begründung des Satzes 1, der offenbar nur an Warmblütermaterial aufgedeckt werden konnte, weil die Froschniere eine geringere Durchlässigkeit besitzt als die Mäuseniere und deshalb auch so diffusible Farbstoffe noch speichert, die von der Mäuseniere glatt durchgelassen werden (Näheres siehe v. Moellendorff 1915, S. 242, Angaben, die sich bei allen weiteren Versuchen bestätigt haben). Im übrigen ergaben die Farb-

⁷⁾ S. Chassin, Diss. med. Berlin (1914).

⁷⁾ H. M. Evans und W. Schulemann, Fol. haem. 19, 207–219 (1915).

⁹⁾ Loc. cit. und Deutsch. med. Wochenschr. 1914. Nr. 41 und 1914. Nr. 11 (Greifsw. Med. Verein).

stoffe in der Niere eine im Vergleich zur Harnkonzentration um so stärkere Speicherung, je gröber dispers sie waren, was also eine indirekte Bestätigung der Hoyer'schen Sätze ist. An einem Organ wie der Niere sind diese Verhältnisse natürlich deshalb besonders klar zu erforschen, weil man sich hier durch genaue Verfolgung der Harnkonzentration auch eine Vorstellung von dem Angebot an Farbstoff machen kann, was wie gezeigt für die Beurteilung sehr wesentlich ist. Schulemann, Evans und Wilborn (1914) zeigten an einem sehr großen Material, daß die Diffusionsgeschwindigkeit der anodischen Substanzen für das Zustandekommen der Vitalfärbung von grundlegender Bedeutung ist, insbesondere betonten sie die Verwandtschaft dieser Vorgänge mit der Phagozytose grober Teilchen. Auch die Bedeutung des Satzes I (siehe oben S. 83) erfaßten sie mit den Worten S. 1509: „Ist die Diffusionsgeschwindigkeit groß, findet kaum noch Ablagerung in den Zellen statt; in wenigen Stunden ist der Farbstoff durch Harn und Kot wieder abgeschieden.“ Leider ist die ausführliche Arbeit dieser Forscher noch nicht erschienen, so daß über viele Probleme, die sie vielleicht beobachtet haben, ihre Ansicht der Öffentlichkeit noch vorenthalten ist.

Bemerkung zu Satz 3: Die Zugehörigkeit des Kapitels Phagozytose zu dem Gebiete der Vitalfärbung mit sauren Farbstoffen ist dem Tatsachenmaterial nach schon seit langer Zeit bekannt. Besonders die zahlreichen Untersuchungen über Phagozytose der Sternzellen in der Leber zeigten, daß diese Zellen sowohl befähigt sind, grobe Teilchen aufzunehmen (Zinnoberkörnchen, A. Ponfick¹⁰⁾ u. A., Fettröpfchen E. Asch¹¹⁾ u. A., Tusche, C. v. Kupffer¹²⁾, E. Goldmann¹³⁾, Erythrozyten, v. Kupffer, Browicz¹⁴⁾ und viele Andere, Bakterien, A. Wyssokowitsch¹⁵⁾, V. Schilling¹⁶⁾ usw.) wie gelöste Stoffe aus dem Blute in sich abzulagern und sie allmählich zu konzentrieren (H. Ribbert¹⁷⁾ 1879, und viele Andere). Systematisch die prinzipielle Identität dieser Art von

Phagozytose mit der Vitalfärbung unter physikalischen Gesichtspunkten aufgedeckt zu haben, ist das Verdienst von Evans, Schulemann und Wilborn (1914); ihre Auffassung, wenn auch erst in einer vorläufigen Mitteilung begründet, deckt sich so vollkommen mit dem auch von mir beobachteten Tatsachenmaterial, daß ich mich vollständig ihren Deduktionen anschließen kann. In einer kurzen Mitteilung (1914) nahm ich unter Bezugnahme auf die fast völlige Identität unserer Resultate gegen die Nomenklatur der oben erwähnten Forscher Stellung. Sie bezeichneten den ganzen Vorgang der Vitalfärbung mit sauren Farbstoffen als Phagozytose mit den Worten: „Wir dehnen daher den Begriff „Phagozytose“ . . . nach unten hin aus und definieren die Vitalfärbung mit sauren Farbstoffen und die Verteilung der untersuchten Kolloidlösungen und Suspensionen als Phagozytose großer Anionen, Amikronen, Ultramikronen und größerer suspendierter Teilchen.“

Der Hauptpunkt meiner Entgegnung, daß bei dieser Definition die allmähliche Konzentrierung der Granula bei Farbstoffen mittlerer Dispersität nicht berücksichtigt wäre, ist mittlerweile durch Erscheinen einer neuen Arbeit von Evans und Schulemann (Fol. haemat. 1915) hinfällig geworden, wo die Forscher zum ersten Male Genaueres über ihre Ansicht von der Bildung der Farbgranula mitteilen (siehe unten). Trotzdem möchte ich hier hervorheben, daß die Ausdehnung des Begriffs Phagozytose auf Vorgänge, die gut physikalisch erfassbar sind, mir auch nach dem Studium dieser neusten Veröffentlichung der Autoren nicht eben glücklich erscheint. Phagozytose ist doch ein für einen bislang schwer erklärbarer, aktiven Lebensvorgang bestimmter Zellen reservierter Begriff; wenn dieser Begriff sich nun erklärbar erweist durch neu erkannte, physikalisch gut definierbare Verteilungsgesetze, so wird man bestrebt sein, den Begriff Phagozytose durch einen schärfer definierenden Ausdruck zu ersetzen, nicht aber den alten, fest eingewurzelten Begriff ausdehnen wollen: Phagozytose ist, so scheint es, ein Adsorptionsvorgang, wäre besser gesagt, als „ich nenne die Adsorptionsvorgänge, die noch dazu bei geringer kolloiden Stoffen unter einem anderen Bilde verlaufen als bei der allgemein bekannten Phagozytose, mit eben diesem Namen“. Letzten Endes ist das gewiß Geschmackssache; uns kommt es aber doch darauf an, die biologischen Vorgänge, soweit es geht, mit physi-

¹⁰⁾ A. Ponfick, Virchows Arch. 48, 1 (1869).

¹¹⁾ E. Asch, Med. Dissert. (Bonn 1884).

¹²⁾ C. v. Kupffer, Arch. f. mikr. Anat. 54 (1900).

¹³⁾ E. Goldmann, Die äußere und innere Sekretion des gesunden Organismus im Lichte der „vitalen“ Färbung (Tübingen 1909).

¹⁴⁾ T. Browicz, Anz. d. Akad. d. Wissensch. (Krakau 1899).

¹⁵⁾ A. Wyssokowitsch, Arch. f. h. Hygiene 1, (1886).

¹⁶⁾ V. Schilling, Virchows Arch. 196, (1909).

¹⁷⁾ H. Ribbert, Vortr. niederrhein. Ges. (Bonn 1879).

kalisch-chemischen Maßstäben zu messen. Ist uns das einmal gelungen, so wollen wir nicht die gewonnene Erkenntnis durch einen verschleiern Namen nach außen hin verdecken.

Mit diesen Bemerkungen habe ich schon das Gebiet unseres 4. Satzes gestreift, dem ich nun noch einige Worte widmen möchte, weil hier noch einige kleine Unklarheiten bestanden, die, wie ich hoffe, sich durch eine neue, bei dieser Gelegenheit mitzuteilende Versuchsreihe beheben lassen werden.

Die Beurteilung der Granulabildung bei Ein- gabe saurer Farbstoffe hat je nach der angewandten Methodik zumeist wegen ungenügender Beachtung physiologischer Momente zu Fehlschlüssen geführt. Bei genauester Verfolgung der Granulabildung in ihren verschiedenen Stadien lassen die beobachteten Bilder keine andere Deutung zu, als sie in Satz 4 (siehe S. 83) gegeben wurde. Bei Farbstoffen mittlerer Dispersität erkennt man in der Niere z. B. in Anfangsstadien, in den Zellen eine spärliche Anzahl blaß gefärbter Tröpfchen, die im Verlaufe der weiteren Farbstoffausscheidung an Konzentration ständig zunehmen, dabei durch ihr homogenes durchscheinendes Aussehen als Lösung anzusehen sind. Dabei mußten meine Erfahrungen, die zunächst an der Mäuseniere erworben waren, stehen bleiben, da grob disperse Farbstoffe in der Niere nicht ausgeschieden werden, wie Schulemann und Evans sehr richtig hervorheben, und deshalb in den Nierenzellen nicht abgelagert werden können. Bei weniger dispersen Farbstoffen beobachtet man nach den erwähnten Autoren in vielen Körperzellen ein weiteres Fortschreiten der Granulabildung, indem es in den Granulis zur Ausflockung kommt; dieser Vorgang findet seine Erklärung in der Tatsache, daß Stoffe geringer Dispersität sehr viel mehr zum Ausflocken neigen als vollkommener gelöste Substanzen. Bei weiterer Farbstoffzufuhr wird bei den erwähnten Farbstoffen allmählich das Granulum zu einem Substanzkörnchen umgewandelt. Besonders klar wurde dieser Vorgang bei Anwendung metachromatischer Farbstoffe wie Congorubin, Bordeaux extra [Schulemann 1914¹⁸⁾], wo in vorher roten Granulis mit dem Fortschreiten des Färbungsvorganges blaue Körnchen auftreten, sodaß schließlich das vorher rote Granulum eine blaue Farbe annimmt. Nur erklärbar ist nach Schulemann diese Metachromasie durch Ausflockung, da bei Bordeaux extra nur bei

Elektrolytfällung ein Farhenumschlag in blau auftritt.

Eine überraschend schöne Bestätigung dieser Vorstellungen über die Granulaentstehung bei Einwirkung saurer Farbstoffe gaben mir meine Versuche an Froschlarven, die in verschiedenster Hinsicht von Interesse waren, wie ich späterhin noch zu berichten hoffe. Zunächst überraschte nach den negativen Ergebnissen A. Fischel's¹⁹⁾ die Tatsache des Gelingens einer vitalen Färbung mit sauren Farbstoffen bei diesem Material an sich. Daß Fischel negative Ergebnisse hatte, liegt wohl zum Teil daran, daß die Färbung im Vergleich etwa zu einer Neutralrotfärbung recht unscheinbar ist; Sternzellen, Teile der Vor- und Urnierenkanälchen, gewisse Bindegewebszellen (embr. Pyrrholzellen), gewisse Gefäßepithelien sind die Elemente, in denen sich im Laufe der Zeit eine langsam zunehmende granuläre Färbung ausbildet. Die Haut, die Fischel hauptsächlich untersuchte, bleibt abgesehen von einigen abgestorbenen, diffus durchtränkten Zellen völlig farblos.

Eine einigermaßen schnell eintretende Färbung läßt sich zudem nur erreichen, wenn relativ stark konzentrierte Farbstofflösungen angewandt werden. Man erhält aber auch beim Züchten in Lösungen von Trypanblau 1:1000, Vitralneurot 1:1000—5000 und ähnlich konzentrierten Lösungen anderer Farbstoffe mittlerer Dispersität erst nach mehreren Tagen bis zu einer Woche brauchbare Resultate. Die Farbstoffe sind aber auch in diesen Konzentrationen recht wenig schädlich, sodaß ich Kulturen den ganzen Sommer hindurch beobachten konnte.

Die Farbaufnahme geschieht offenbar vom Darmkanal aus, in dessen Inhalt stets eine recht hohe Farbstoffkonzentration zu beobachten war, besonders in dem reichlich gefressenen Detritus. Die Resorptionsfähigkeit saurer Farbstoffe, von E. Bouffard²⁰⁾ für Trypanblau schon 1906 nachgewiesen, von Hoeber²¹⁾ ebenfalls an dem Erscheinen im Harn nach Verfütterung erkannt, neuerdings manchmal bestritten, erhält hierdurch eine neue Bestätigung.

In ihrer Verbreitung gleicht die Färbung an den Kaulquappen so sehr derjenigen bei erwachsenen Fröschen, daß an dieser Stelle das oben Gesagte genügen möge. Nur die überraschende Tatsache, daß selbst in jüngsten Entwicklungsstadien (4—5 Tage nach dem Auskriechen aus der Gallerthülle) die Vorniere mit

¹⁸⁾ W. Schulemann, Med. Dissert. (Breslau 1914).

¹⁹⁾ A. Fischel, Anatomische Hefte 16, (1901).

²⁰⁾ E. Bouffard, Ann. de l'Inst. Pasteur (1906).

²¹⁾ R. Hoeber, Pflüger's Arch. 86, 199 (1901).

ihren drei Kanälchen eine der Färbung des erwachsenen Tieres völlig analoge Farbstoffspeicherung erkennen läßt, soll erwähnt werden.

Das Vornierenkanälchen besteht nach diesen Befunden und unter Berücksichtigung der Erfahrungen der Farbstoffverarbeitung beim erwachsenen Tiere aus mindestens vier Abschnitten, wie ich an Isolationspräparaten häufig festzustellen Gelegenheit hatte. Es beginnt mit dem Peritonealtrichter, an den sich der zweite mit Bürstensaum schon sehr frühzeitig ausgestattete Abschnitt anschließt; dieser enthält wie bei der Niere des erwachsenen Frosches den gespeicherten sauren Farbstoff. Der dritte Abschnitt, gewöhnlich durch eine stärkere Pigmentierung ausgezeichnet, enthält keine Farbstoffeinlagerungen, selbst bei stärkster „Hochtreibung“ der Färbung, und übernimmt die Verbindung mit dem, den drei vorhandenen Kanalsystemen gemeinsamen Sammelgang.

Die besten Beobachtungen über Granulabildung lassen sich an Vor- und Urnieren, sowie an den Sternzellen der Leber machen. Der Vorzug des Objektes liegt in der besonderen Größe der Granula. Im allgemeinen fallen die durch den Farbeintritt entstehenden Granula um so größer aus, je jünger die Versuchstiere sind. Wie ich schon (1915) hervorhob, scheint die Granulagröße auch mit der Dispersität der Farbstofflösungen gewisse Beziehungen zu besitzen. An meinem neuen Material habe ich die Vorstellungen über Granulagröße und ihre Abhängigkeit von der Dispersität eingehender beobachten können.

Sehr typisch erscheint mir der Vorgang bei Trypanblau.

Noch deutlicher als an der Mäuseniere ließ sich hier an der Vorniere der Kaulquappen die Trennung einer roten von einer blauen Komponente (W. v. Moellendorff 1915) bei der Ausscheidung des Farbstoffes beobachten. In den ersten acht Tagen des Aufenthaltes der Tiere in einer 0,5prozentigen Trypanblaulösung enthält die Vorniere nur verschieden, meist auffallend große rotviolette Tropfen. Erst später gesellen sich diesen allmählich vereinzelt blaue Tropfen hinzu, die dann unter gleichzeitigem Schwunde der rotviolettten allmählich an Zahl, Größe und Farbdichte zunehmen, wobei sie aber unter normalen Verhältnissen nicht so groß werden wie die ihnen vorausgegangenen rotviolettten Tropfen.

Bezeichnenderweise erreichen also die aus der diffusibleren Komponente bestehenden Granula einen bedeutend größeren Umfang als die

Granula des blauen Hauptfarbstoffes. In stark konzentrierten Farbstofflösungen lassen sich weiter Bilder beobachten, die den von H. Evans und W. Schulemann angegebenen Ausflockungsvorgängen entsprechen. In selteneren Fällen kommt eine Ausflockung auch in den rotviolettten Granulis zu Stande, das Granulum verliert seine homogene Beschaffenheit, indem in seinem Innern Farbstoffklümpchen sichtbar werden. Solche konnten aber stets nur an den größten Granulis beobachtet werden; dagegen zeigen die blauen Granula schon bei viel kleinerer Granulagröße Substanzausflockung.

Man darf aus solchen Beobachtungen den Schluß ziehen, daß bei diffusibleren Farbstoffen sich aus dem Grunde größere Farbstofftropfen bilden, weil es erst viel später zum Ausflocken des Farbstoffes kommt, bei weniger dispersen Stoffen kann die Granulagröße ein gewisses Maß nicht übersteigen, weil schon frühzeitig Ausflockung eintritt.

Die Beobachtungen an diesem embryonalen Material haben also neben einer vollen Bestätigung der an erwachsenem Material gewonnenen Vorstellungen von der Granulabildung durch saure Farbstoffe, unsere Kenntnisse von diesen Vorgängen vertieft.

Auch die Begründung des Satzes 5 (s. S. 83) hat durch unsere Untersuchungen an Kaulquappen eine neue Stütze bekommen.

Wie ich in meiner Nierenarbeit (1915) näher ausgeführt habe, haben bezüglich der Art der Granulabildung bis in die neueste Zeit die verschiedensten Auffassungen geherrscht. Schon dort habe ich mich mit aller Schärfe dafür ausgesprochen, daß die sauren Farbstoffe ihre Granula selbst bilden, daß diese letzteren also durch den Farbstoffeintritt in die Zellen selbst erst entstehen. Von einer Auffassung dieser Granula als Produkte einer inneren Sekretion muß unter diesen Umständen besser abgesehen werden; jedenfalls würde E. Goldmann, der leider die Früchte seiner so glänzend eingeführten Vitalfärbungsmethoden auf dem Gebiete der Lehre vom Zellenbau nicht mehr erleben sollte, seine Ansicht von der innersekretorischen Bedeutung der Farbstoffgranula nach Kenntnis des jetzt vorliegenden neuen Materiales geändert haben. Ich schließe mich der Ansicht von Schulemann und Evans auch in der Beziehung vollkommen an, daß ich die sauren Farbstoffgranula als nur aus Farbstofflösung resp. aus Farbstoffsubstanz bestehend ansehe.

Es soll hier noch einmal mit aller Schärfe darauf hingewiesen werden, daß die bloße Ähnlichkeit in der Lagerung der Farbstoffgranula mit der Anordnung anderer Zellbestandteile (Chondriosomen, Granula usw.) niemals für die Auffassung der Natur der Farbstoffgranula entscheidend sein kann. In einem so begrenzten Raume wie eine Zelle ihn darstellt, muß natürlich schon aus räumlichen Gründen jede in die Zelle eintretende granulär abgelagerte Substanz eine ähnliche Anordnung einnehmen wie vorher schon vorhandene Granula (siehe Genauerer v. Moellendorff, 1915). Arbeiten, die nur mit solchen Argumenten an diese schwierigen Fragen herantreten (S. Tschaschin²²), können gegenüber dem neuen experimentellen Material keine Geltung beanspruchen, wie Schulemann und Evans (1915) richtig hervorheben. Dort lese man auch die Entgegnung der Autoren auf die Einwände T. Kiyono's²³ nach. Die Aschoff'sche Schule scheint der Meinung zu sein, daß die Farbstoffe an präformierte Protoplasma granula durch Adsorption gebunden würden, eine Ansicht, die nach den neueren Untersuchungen nicht haltbar ist.

Besonders an dem Kaulquappenmaterial kann man sich bei der Größe der Granula stets davon überzeugen, daß zwischen den zahllosen anderen Granulis, die das Protoplasma der Nierenzellen erfüllen, die Farbstofftropfen ganz allmählich als etwas völlig Neues in Erscheinung treten.

Gleichzeitig aber ist es mir geglückt, einen neuen experimentellen Beweis dafür zu erbringen, daß die Granula der sauren Farbstoffe nicht nur topographisch als Fremdkörper in den Zellen zu betrachten sind, sondern daß die Farbstoffe auch chemisch unverändert, jedenfalls nicht chemisch gebunden in den Granulis abgelagert sind.

Diese Tatsache ist an zwei Gruppen von Versuchsreihen erhärtet worden, deren eine an erwachsenen Fröschen und Mäusen von meiner Schülerin, Frl. oand. med. E. Herzfeld ausgeführt wurde (ist im Erscheinen begriffen); identische Resultate erhielten wir selbst teilweise noch klarer ausgesprochen an Kaulquappen.

Handelte es sich bei der Ablagerung des sauren Farbstoffes um eine chemische Bindung an bestimmte Gruppen des Protoplasmas, so mußte sich das geltend machen bei der Zuführung von Farbstoffen, die im Reagensglas

mit sauren Farbstoffen chemisch reagieren. Solche Farbstoffe finden sich in den meisten basischen Farbstoffen, sie bilden mit den sauren Farbstoffen im Reagensglas in geeigneter Konzentration angewandt Neutralfarben, die in einem aus den beiden reagierenden Farben resultierenden Mischton ausfallen.

Num hatte R. Höber mit E. Koenigsberg²⁴ (1915), um zu zeigen, daß A. Gurwitsch's²⁵ Theorie, es gäbe für lipoidlösliche und lipoidunlösliche Stoffe verschiedene Kondensatoren in den Nierenzellen, so einfach nicht gelten könne, einen sauren (lipoidunlöslichen) und einen basischen (lipoidlöslichen) Farbstoff einem Frosche gemischt injiziert. In der Niere fanden sich Mischgranula. Bei einer Nachprüfung dieses Befundes, wobei noch andere, unten zu besprechende Gesichtspunkte in Betracht kamen, verwandten wir die verschiedensten Farbstoffkombinationen, unter Berücksichtigung der Fällungskraft, der Lipoidlöslichkeit, des Molekulargewichtes und der Diffusibilität der Farbstofflösungen und erhielten bei diesen teilweise recht komplizierten Untersuchungen überraschend einfache Ergebnisse, die in den nachfolgenden zusammenfassenden Sätzen der Arbeit von Herzfeld²⁶ niedergelegt sind.

Bei Doppelfärbungen wird der basische Farbstoff durch den sauren von seinen gewohnten Zellorten abgelenkt, in das saure Granulum gezogen und dort gefällt. Erst nach Absättigung aller sauren entstehen basische Granula.

Bei saurer Vitalfärbung an vorher basisch gefärbtem Tier findet man dagegen stets basische Granula unvermischt.

Der in seinen Granulis gespeicherte basische Farbstoff vermag nicht den sauren zu fällen oder irgendwie chemisch mit ihm zu reagieren."

Aus diesen Sätzen ergibt sich, abgesehen von dem fundamentalen Unterschied in der Wirkungsweise saurer und basischer Farbstoffe, vor allem der hier wichtige Schluß, daß der saure Farbstoff in seinen Granulis in einer Form vorhanden sein muß, die sein Reagieren mit dem nachträglich eingeführten basischen Farbstoff zuläßt.

Das ist meines Erachtens ein neuer Beweis für die Ansicht, daß auch keine vorher unsichtbaren chemischen Gruppen des Protoplasmas

²²) S. Tschaschin, *Fol. haem.* 14, 16, 17, (1913 bis 1914).

²³) T. Kiyono, *Die vitale Karminspeicherung* (G. Fischer 1914).

²⁴) R. Hoeber und E. Koenigsberg, *Pflüger's Arch.* 108 (1905).

²⁵) A. Gurwitsch, *Pflüger's Arch.* 91, 71 (1902).

²⁶) E. Herzfeld, erscheint in *Anat. Hefte*.

für die Bindung saurer Farbstoffe in Betracht kommen. (Genaueres siehe bei Herzfeld.)

Hinsichtlich des feineren Mechanismus der Ablagerung saurer Farbstoffe in den Zellen ist erst ein Anfang im Verständnis erreicht. Die Frage nach den Kräften, unter deren Einfluß die Granulabildung zustande kommt, ist noch offen. Schulemann und Evans (1915) nennen den Vorgang eine Adsorption des Farbstoffes an die Zellen, glauben also, daß dieselben Kräfte, die zur Aufnahme gewisser Substanzen aus Lösungen an Tierkohle z. B. in Betracht kommen, für die Aufnahme der Farbstoffmoleküle durch die lebenden Zellen heranzuziehen seien. W. v. Moellendorff (1915) dagegen faßte nach Erfahrungen an der Niere den Vorgang der Farbstoffablagerung als abhängig von einer Durchströmung der Zellen auf. Er kam zu der Ansicht, daß dauernd ein von der Blutkonzentration und von der Dispersität in seiner Konzentration abhängiger, meist sehr verdünnter, Farbstoffstrom durch die Hauptstückzellen der Niere hindurchströmt, aus dem heraus die Farbstoffmoleküle, wiederum nach Maßgabe ihrer Teilchengröße von den Zellen zurückgehalten werden. Mit dieser Vorstellung war eine bestimmte in der erwähnten Arbeit näher begründete Hypothese von der Art der Nierenarbeit verknüpft. Auch heute noch bin ich der Ansicht, daß die Adsorption, als die letzten Endes auch die Aufnahme der Farbstoffteilchen aus dem die Zelle durchdringenden Farbstoffstrom aufzufassen ist, wahrscheinlich ohne eine solche Durchströmung nicht zustande kommen kann. Dazu veranlaßt mich die schon damals gehegte Vermutung, daß die Niere nur ein besonders gut verständliches Beispiel einer fast nur in dem Mesoderm entstammenden Zellen vorkommenden Speicherung sei. Das Bindegewebe, der Sitz der Pyrrholzellen, die Sternzellen usw. sind wohl sicher in einer ständig strömenden Umgebung untergebracht. Für die Sternzellen — das zeigte die in meinen Gallenversuchen hervortretende Abhängigkeit der Farbstoffelimination von der Dispersität nebst dem in jener Arbeit angedeuteten möglichen Zusammenhang zwischen Sternzellenfärbung und Ausscheidbarkeit der Farbstoffe — scheinen ganz ähnliche Beziehungen vorzuliegen wie in der Niere. Ich fasse den Unterschied in der Farbstoffaufnahme beider Arten von Zellen als im wesentlichen darin begründet auf, daß für die Aufnahme durch die Hauptstückzellen nur Farbstoffe in Betracht kommen, die vom Glomerulus durchgelassen werden (Rückresorption der Haupt-

stückzellen); für die Durchlässigkeit des Glomerulus besteht aber, wie auch Schulemann und Evans hervorheben, eine Grenze, die übereinstimmt mit der Dispersitätsgrenze, die für die Ausscheidbarkeit der Farbstoffe überhaupt besteht.

Daß trotzdem, obwohl die Grenze für die Ausscheidung der Farbstoffe in der Leber noch niedriger zu liegen scheint als in der Niere, die Sternzellen mit Teilchen von relativ unbegrenzter Größe beladen werden können, liegt daran, daß sie offenbar selbst gewissermaßen als Filter dienen und nicht indirekt wie die Hauptstückzellen mit den Ausscheidungsstoffen in Berührung kommen.

Es ist gleichwohl zuzugeben, daß eine so bestimmte Vorstellung noch eingehender Experimente zu ihrer Unterstützung bedarf. Selbst, wenn wir diese Hypothese für das Zustandekommen der vitalen Ablagerung der sauren Farbstoffe als gegeben annehmen, so ist über die Kräfte noch nicht viel gesagt. Sicherlich hat der Strömungsdruck der Körperflüssigkeiten einen lebhaften Anteil an dem Zustandekommen der Färbung; sicherlich spielen zelleigene Kräfte mit (wie sollte man sich die charakteristische, einzigartige Struktur der Hauptstückzellen vorstellen, ohne ihr die Bedeutung als Grundlage einer spezifischen Funktion zu geben?).

Eine weitere Frage scheint mir einer experimentellen Lösung zugänglich zu sein. Welche Eigenschaften der Zelle und der Farbstoffe führen zu einer Ablagerung saurer Farbstoffe gerade in der charakteristischen Tröpfchenform? Es ist in den Untersuchungen auch anderer Forscher (W. Ruhland, R. Höber u. A.) stets aufgefallen, daß eine Reihe von sauren Farbstoffen sich anders verhalten als die große Mehrzahl derselben. Dazu gehören vorzugsweise die Phthaleine (Eosin, Erythrosin, Phloxin, Rose bengale u. a.) und Ehtrot A; diese Farbstoffe lösen sich, wie ich bestätigen kann, alle mehr oder weniger in Lipoiden, vor allem in Lezithinxylole, aber auch in Terpentincholesterin (Genaueres später). Eosin, Erythrosin, Phloxin, Rose bengale sind in ihrer Diffusibilität immerhin so geartet, daß eine Granulafärbung, verhielten sie sich so wie die übrigen Farbstoffe, in der Froschniere erwartet werden könnte. Untersuchungen lehrten, daß es trotz auffallend reichlicher Ausscheidung im Urin niemals zu einer granulären Speicherung in den zweiten Abschnitten kommt, obwohl die Farbstoffe weniger diffusibel sind als andere, die sehr gut gespeichert werden. Indem ich mir eine eingehende Begründung für später vor-

behalte, möchte ich mit aller Vorsicht hier nur andeuten, daß die Eigenschaft der Lipoidlöslichkeit vielleicht zur Erklärung dieses eigenartigen Phänomens herangezogen werden könnte.

J. Traube hat in gemeinsamer Arbeit mit F. Koehler (1915) versucht, das abweichende Verhalten von diesen Farbstoffen (Eosin, Phloxin, Erythrosin, Rose bengale) auf sogenannte entquellende Eigenschaften dieser Farbstoffe zurückzuführen. Als solche Eigenschaft definiert er ihr Vermögen, auf die Lösungsgeschwindigkeit eines Gelatinegels verzögernd einzuwirken, wobei das Verhalten der betreffenden Farbstoffe mit der Einwirkung des Wassers auf dasselbe Gel in Vergleich gesetzt wurde. Im Gegensatz zu den meisten sauren Farbstoffen, die die Gellösungsgeschwindigkeit beschleunigen, verzögern die uns interessierenden diesen Vorgang. Die Autoren sagen nun S. 216: „Quellende Farbstoffe haben die Neigung zu permeieren, entquellende dagegen haben die Tendenz, sich adsorbieren zu lassen“. Sie beziehen sich dabei auf die Befunde Ruhland's u. A., aus denen sich ergab, daß die in Rede stehenden Farbstoffe schlechter permeieren als ihrer Diffusibilität entspricht. Diese Befunde von botanischer Seite entziehen sich einer genaueren Beurteilung meinerseits.

Ich selbst bin auf Grund meiner und Herzfeld's Untersuchungen zu der Ueberzeugung gekommen, daß die von Traube geäußerte Hypothese mit den bei Vitalfärbungen an Fröschen und Mäusen zu beobachtenden Tatsachen nicht in Einklang zu bringen ist.

Zweifellos ist bei Mäusen die Ausscheidung der in Rede stehenden Farbstoffe bei subkutaner Injektion verzögert. Eine Erklärung für dieses Phänomen steht noch aus. Mit Sicherheit läßt sich dagegen jetzt schon bestreiten, daß eine verstärkte Adsorption, die sich doch in irgend einer Weise als gegenüber dispersitätsverwandten Farbstoffen verstärkte Färbung äußern müßte, bei der Urinausscheidung beobachtet würde. Trotz beträchtlichen Urinkonzentrationen, die beim Frosch bei der Ausscheidung von Eosin und Erythrosin beobachtet wurden (Herzfeld), kam es stets nur zu Diffusionen der Nierenzellen, die aber auch nur zur Zeit der stärksten Farbstoffausscheidung zu Gesicht kamen, also keinesfalls als Speicherung aufgefaßt werden können, sondern nur der Ausdruck des in hoher Konzentration die Zelle durchsetzenden Farbstoffstromes sind. Beim Frosch erscheint also die Permeabilität gegenüber Eosin und Erythrosin geradezu über das nach der Diffusibilität

zu erwartende Maß gesteigert; diesem Befunde steht das Ausbleiben einer granulären Speicherung, die nach der Diffusibilität der Farbstoffe und bei normalem Verhalten unbedingt zu erwarten gewesen wäre, gegenüber.

Nach der Traube'schen Auffassung hätte man eine verringerte Permeabilität infolge der entquellenden Eigenschaften der Farbstoffe erwarten müssen, gleichzeitig eine gesteigerte Speicherung. Die an Fröschen erhobenen Befunde ergaben das Gegenteil. Die Mäuseversuche stimmen mit diesen in bezug auf die beobachtete Färbung überein: diffuse Färbung der Nierenzellen zur Zeit der lebhaftesten Ausscheidung, wobei bezüglich der Flüchtigkeit der Färbung das gleiche gilt, wie von den Froschversuchen. Nur scheint hier in der Tat die Ausscheidung im Ganzen verzögert zu sein, eine Tatsache, über deren Ursachen die Versuche noch nicht abgeschlossen sind.

Ist somit Traube's Erklärungsversuch für das abweichende Verhalten der genannten Farbstoffe zur Zeit nicht begründbar, so liegt es nahe, sich an die bei der Mehrzahl dieser Farbstoffe beobachtete Löslichkeit in Lipoiden zu halten. Dieselbe ist, wie Herzfeld an vergleichenden Messungen in Lezithinxytol festgestellt hat, nicht kleiner als bei den guten basischen Vitalfarbstoffen (Neutralrot, Methylenblau u. a.).

Doch ist, wie die genannten Versuche ebenfalls ergaben, die höchstmögliche Konzentration der Farbstoffe in Lezithinxytol gegenüber der maximalen Wasserlöslichkeit minimal, eine Eigenschaft, die sie ebenfalls mit den lipoidlöslichen basischen Farben gemeinsam haben.

Ich bin nun zu der Ansicht gekommen, daß die Lipoidlöslichkeit bei sauren Farben deren Speicherung zu verhindern im Stande ist. Stellen wir uns vor, daß die Lipide in den Zellen, deren Vorhandensein in ihnen ja allgemein zugestanden wird, nicht nur in der Plasmahaut, sondern vor allem diffus im Zellenprotoplasma verteilt sind, so ließe sich denken, daß alle Stoffe, die sich nicht mit den Lipoiden mischen, mit ihrem Lösungsmittel Wasser in besondere neugebildete Hohlräume (Vakuolen) abgesondert werden. Dieser Vorgang ließe sich also vergleichen mit der Bildung von Wassertropfen in einer öartigen flüssigen Umgebung. Stoffe, die bis zu einer gewissen Konzentration lipoidlöslich sind, brauchen nicht in dieser Weise abgesondert zu werden; sie werden nach Maßgabe ihrer

Lipoidlöslichkeit nur verschieden starke Diffusfärbungen hervorrufen können.

Diese Auffassung würde die Bedeutung der Lipoidlöslichkeit für die Farbstoffversuche gegenüber früheren Ansichten stark verschieben. Nur kurz hinweisen möchte ich darauf, daß das andersartige Verhalten, lipoidlöslicher basischer Farbstoffe keine Schwierigkeiten bietet; hier ist die basische Natur für das Zustandekommen granulärer Färbungen entscheidend, nachdem mit ziemlicher Bestimmtheit nachgewiesen werden konnte, daß saure Eiweiße der Zelle, die in granulärer Form abgelagert sind, die basischen Farbstoffe an sich reißen. Unsere Versuche haben wieder mit aller Deutlichkeit gezeigt, daß die Granulafärbung mit basischen Farbstoffen durchaus anders zu bewerten ist, als die in den vorstehenden Zeilen charakterisierte saure Färbung.

Zusammenfassung: Die Speicherung saurer Farbstoffe in den Zellen des Tierkörpers ist in weitem Umfange abhängig von dem Lösungszustand, der Dispersität der Farbstoffe. Mit zunehmender Dispersität der Farbstoffe nimmt ihre Speicherungstendenz ab. Die Speicherung selbst erfolgt nicht an präformierte Zellsubstanzen, vielmehr sind die bei der Speicherung auftretenden Granula als in seiner Dispersität sich allmählich vermindender gelöster Farbstoff anzusehen. Dieser Farbstoff ist nicht chemisch gebunden, weil er noch mit basischen Farbstoffen Neutralfarben zu bilden im Stande ist. Basische Farbstoffe reagieren dagegen mit sauren Zellgranula vermutlich chemisch. Die Lipoidlöslichkeit kommt möglicherweise als Erklärung des Ausbleibens einer granulären Speicherung bei einer Anzahl saurer lipoidlöslicher Farbstoffe in Betracht.

Ueber das Zusammenwirken von Stäbchendoppelbrechung und Eigendoppelbrechung, I.

Von H. Ambronn (Jena).

(Eingegangen am 13. März 1916.)

(Mitteilung aus dem Institut für Mikroskopie an der Universität Jena.)

Vor kurzem habe ich an anderer Stelle¹⁾ über die Ergebnisse einiger Versuche berichtet, aus denen auf ein Zusammenwirken von Stäbchendoppelbrechung und Eigendoppelbrechung, und zwar auf eine direkte Ueberlagerung dieser beiden Erscheinungen, geschlossen werden konnte. Ich hatte meine Beobachtungen an drei verschiedenen kolloiden Körpern angestellt, die durch Zugspannungen um einen erheblichen Betrag bleibend verlängert werden konnten. Stärke und Vorzeichen der dabei auftretenden Doppelbrechung zeigten eine bemerkenswerte Abhängigkeit von dem Brechungsvermögen der Flüssigkeiten, mit denen diese Körper durchtränkt waren. Es wurden untersucht: Zelloidin, Zellulose, die durch Denitrierung aus Zelloidin gewonnen war, und Gelatine. In besonders eigentümlicher Weise trat diese Abhängigkeit beim Zelloidin hervor. Hier ging nicht nur die Stärke der Doppelbrechung bei Steigerung des Brechungsvermögens der eingelagerten Flüssigkeit auf 0 herab, sondern sie erhielt für einen bestimmten Bezirk sogar das umgekehrte Vorzeichen. Bei Verwendung von noch höher brechenden Flüssigkeiten erreichte

sie nochmals den Wert 0 und sodann wieder den früheren positiven Charakter. Bei Zellulose und Gelatine konnte dagegen nur eine Minderung der Stärke bis zu einem bestimmten Grenzwert, aber niemals ein Herabgehen auf 0 und somit auch keine Umkehr des Vorzeichens beobachtet werden.

Wenn durch diese Ergebnisse auch in qualitativer Weise ein Zusammenwirken von Stäbchendoppelbrechung und Eigendoppelbrechung des festen Anteils nachgewiesen war, so blieb doch noch die Aufgabe zu lösen, einen quantitativen Ueberblick über die Art jenes Zusammenwirkens zu gewinnen. Bei den Beobachtungen kann immer nur die Stärke der Gesamtdoppelbrechung gemessen werden. Will man nun denjenigen Anteil, der der Grundsubstanz zugehört, von dem anderen, der nur von der Differenz des Brechungsvermögens herrührt, scharf trennen, so muß man wenigstens den einen davon genauer feststellen. Es schien mir deshalb vor allem nötig, zunächst einen klaren Einblick in den Verlauf der reinen Stäbchendoppelbrechung zu erhalten, und ich habe deshalb an einem bestimmten, allerdings ganz willkürlich gewählten Beispiel die Rechnungen durchgeführt.

¹⁾ Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie 32, 43—59 (1915).