

Die Erklärung für das kolloidale Verhalten der Eiweißkörper¹⁾.

Von Jacques Loeb, New York.

(Rockefeller-Institut für medizinische Forschung.)

I.

Die lebendige Substanz ist ihrem Wesen nach kolloidaler Natur: wir können uns einen nur aus Kristalloiden bestehenden Organismus nicht recht vorstellen. Diese Tatsache führt zu der Ansicht, daß bestimmte Characteristica des kolloidalen Zustandes Lebenserscheinungen bedingen oder wenigstens unentwirrbar mit ihnen verkettet sind. Das systematische Studium des Wesens echter Lebenserscheinungen sollte demnach auf eine wissenschaftliche Theorie des Verhaltens kolloidaler Substanzen gegründet werden. Eine wissenschaftliche Theorie besteht jedoch nach unserer Auffassung nicht aus Spekulationen oder bloßen Vermutungen, die sich auf qualitative oder womöglich gar keine Experimente gründen, vielmehr wollen wir darunter die Herleitung der Ergebnisse aus rationellen mathematischen Formeln verstehen, die mit adäquater Genauigkeit quantitative Bestimmung kolloidaler Eigenschaften gestattet.

Die Eiweißkörper sind amphotere Elektrolyte, die sowohl mit Säuren wie mit Basen Salze bilden können. Mit Alkalien entstehen Salze wie Na- oder Ca-Proteinat usw., mit Säuren Verbindungen wie Protein-Chlorid-Sulfat usw. Ob das Eiweiß als Anion oder Kation auftritt, hängt von der Wasserstoffionenkonzentration der Lösung ab. Nun gibt es eine bestimmte Wasserstoffionenkonzentration, bei der ein Eiweißkörper sich nennenswert weder mit Säure noch mit Alkali verbinden kann, und diese Wasserstoffionenkonzentration nennt man seinen isoelektrischen Punkt. Seine Lage ist spezifisch für jeden Eiweißkörper, z. B. liegt er (in der Sprache *Soerensens*, wobei der negative Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration angegeben wird) bei Gelatine und Kasein bei einem p_H von 4,7, bei kristallisiertem Eieralbumin bei $p_H = 4,8$. Gelatine kann sich ausschließlich oder so gut wie ausschließlich nur dann mit Säure verbinden, wenn das p_H kleiner als 4,7 ist, mit Alkali nur bei höherem p_H . Oder in anderen Worten: Wenn man ein Salz wie $NiCl_2$ zu einer Gelatine-Lösung bringt, bildet sich Ni-Gelatinat nur dann, wenn das p_H größer ist als 4,7, und nach Zusatz von $K_4Fe(CN)_6$ entsteht die Verbindung mit dem

Ferrocyanion nur bei einem p_H , das kleiner als 4,7 ist. Daß dies der Fall ist, kann man mittels gewisser Methoden zeigen, die ich in meinem letzten Buch besprochen habe¹⁾.

Der Beweis dafür, daß Eiweißkörper sich stöchiometrisch mit Säuren und Basen verbinden, kann durch Titrationskurven erbracht werden. Hierzu (und vielleicht ganz allgemein für alle Arbeiten über das Eiweißgebiet) muß man als Standardausgangsmaterial ein Eiweiß mit dem p_H seines isoelektrischen Punktes wählen. Wir haben gesehen: Eiweißkörper verbinden sich mit Säuren nur bei einem p_H , das kleiner ist als der isoelektrische Punkt, der bei Gelatine oder Kasein bei $p_H = 4,7$, und bei kristallisiertem Eieralbumin bei $p_H = 4,8$ liegt. Bei einem p_H unter 4,7 dissoziieren die schwachen zwei- und dreibasischen Säuren wie eine einbasische. Unter solchen Bedingungen liefert also H_3PO_4 H^+ , und das einwertige Anion $H_2PO_4^-$. Verbinden sich also die Säuren stöchiometrisch mit isoelektrischem Eiweiß, so sollte man glauben, dreimal so viel cem einer 0,1 n (normal) H_3PO_4 als von einer 0,1 n Salzsäure oder Salpetersäure gebrauchen zu müssen, um eine 1proz. Lösung des isoelektrischen Eiweißes, etwa von Gelatine oder Eieralbumin oder Kasein auf dieselbe höhere Wasserstoffionenkonzentration von sagen wir $p_H = 3,0$ zu bringen. Dies ist wirklich der Fall. Anders liegen die Verhältnisse bei der Schwefelsäure. Sie spaltet als starke Säure beide Wasserstoffionen auch bei $p_H < 4,7$ ab, und man sollte gleich viel 0,1 n Schwefelsäure wie Salzsäure gebrauchen, um eine 1proz. Lösung eines isoelektrischen Eiweißes auf dasselbe p_H von etwa 3,0 zu bringen. Und auch das hat sich als richtig herausgestellt. Fig. 1 zeigt die Titrationskurven für kristallisiertes Eiereiweiß mit vier Säuren, HCl , H_2SO_4 , H_3PO_4 und Oxalsäure. 1 g des isoelektrischen Eiweißes befand sich in 100 cem Wasser, das mit verschiedenen Mengen der 0,1 n-Säuren versetzt war. Die Zahlen der cem der 0,1 n-Säure in 100 cem Lösung sind die Ordinaten der Kurven, die Abszissen sind die p_H , welche die Eiweißlösungen nach der Zufuhr der Säure annahmen. Man muß jedesmal genau dreimal soviel cem 0,1 n H_3PO_4 wie 0,1 n Salzsäure oder Schwefelsäure nehmen, um 1 g des isoelektrischen Eiweißes in einem Volumen von 100 cem auf dasselbe p_H zu bringen. Um die 1proz. Lösung des ursprünglich isoelektrischen Albumins auf ein p_H von 3,2 zu bringen, müssen die 100 cem Lösung 5 cem 0,1 n Salz- oder Schwefelsäure und

¹⁾ Die Schriftleitung verdankt die Übersetzung aus dem Original Herrn Dr. van Eweyk, Berlin, Pathologisches Institut der Charité.

¹⁾ *Loeb, J.*, Proteins and the theory of colloidal behavior, New York and London 1922.

15 ccm 0,1 n Phosphorsäure enthalten. Um dasselbe Eiweiß auf $p_H = 3,4$ zu bringen, braucht man 4 ccm 0,1 n Salzsäure oder Schwefelsäure und 12 ccm 0,1 n Phosphorsäure usw. Oxalsäure ist nach *Hildebrand* bei $p \leq 3,0$ einbasisch, spaltet aber das zweite Wasserstoffion um so leichter ab, je mehr das p_H über 3,0 anwächst.

Die Titrationskurven zeigen, daß man etwa doppelt soviel 0,1 n Oxalsäure wie Salzsäure braucht, um unsere Lösung aus isoelektrischem Eiweiß auf dasselbe $p_H < 3,0$ zu bringen, während weniger als zweimal soviel 0,1 n Oxalsäure zur Herstellung einer Reaktion von $p_H > 3,0$ gebraucht wird, als Salzsäure hierzu notwendig wäre.

In der gleichen Weise kann mit Hilfe von Titrationskurven gezeigt werden, daß das isoelektrische Eiweiß mit Alkalien sich in derselben Weise nach stöchiometrischen Gesetzen verbindet, wie irgendeine schwache Säure, etwa Essigsäure, sich mit demselben Alkali verbinden

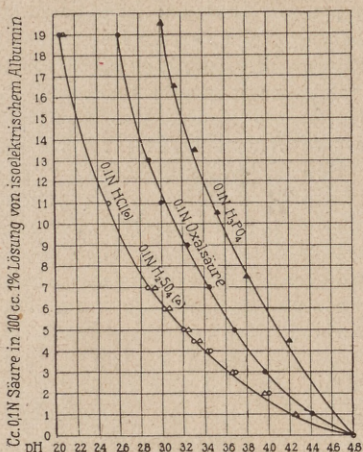


Fig. 1. Titrationskurven für kristallisiertes Eiereiweiß mit Salzsäure, Schwefelsäure, Oxalsäure, Phosphorsäure.

würde. Wenn die Zahl der ccm der 0,1 n Kali-, Natronlauge, Kalk- oder Barytwasser in demselben Volumen von 100 ccm, die erforderlich sind, um die 1proz. Lösung des isoelektrischen Eiweißes auf das gleiche p_H zu bringen als Ordinaten, die dazugehörigen p_H der Eiweißlösungen als Abszissen abgetragen werden, findet man, daß die Werte für alle vier Alkalien auf einer Kurve liegen, wie man es auch erwarten mußte, wenn die Verbindung streng nach stöchiometrischen Regeln zusammengesetzt ist.

Die gleichen für das Vorliegen stöchiometrischer Beziehungen sprechenden Ergebnisse konnten ebenfalls mit Kasein und Gelatine durch den Verfasser und mit Edestin und Serumglobulin von *Hitchcock* erzielt werden. Es ist kaum daran zu zweifeln, daß gleiche Beziehungen für alle Eiweißkörper gefunden werden. Hieraus geht hervor: Die Eiweißkörper reagieren mit Säuren und Basen genau wie amphotere Kristalloide, z. B. wie die Aminosäuren. Wenn die

Kolloidchemiker die Methode der Wasserstoffionkonzentrationsbestimmung auf ihre Eiweißlösungen angewendet hätten, wäre niemand auf den Gedanken gekommen, daß Eiweißreaktionen mit Säuren und Basen an Stelle einer stöchiometrischen Regel der empirischen Adsorptionsisotherme *Freundlich's* folgen.

Der rein chemische Charakter der Verbindung von Eiweißkörpern mit Salzsäure ergibt sich auch, wenn man das Chlorpotential in Lösungen von Proteinchloriden bestimmt. Nach der Wernerschen Anschauung werden beim Zusatz von Salzsäure zu einer NH_3 -Lösung die H-Ionen der Salzsäure von dem Ammoniakstoff gefesselt, die Cl-Ionen bleiben unbeeinflusst. Derselbe Reaktionstypus ergibt sich beim Zusatz von Salzsäure zu einer isoelektrischen Gelatinelösung. Dies ergab sich aus Messungen des Chlorpotentials in Lösungen von isoelektrischer Gelatine. Die 1proz. Lösungen der ursprünglichen isoelektrischen Gelatine enthielten verschiedene Mengen 0,1 n HCl in je 100 ccm. Das p_H der Lösungen wurde mit der Wasserstoffelektrode und das p_{Cl} mit der Silberchlorid-elektrode jeweils bestimmt. Es stellte sich heraus, daß die Gelatine ohne Einfluß auf das p_{Cl} war, während das p_H natürlich höher gefunden wurde, und so ergab sich, daß ein Teil des Wasserstoffs sich mit den NH_2 - und NH -Gruppen des Eiweißmoleküls verbindet, das Chlor dagegen freibleibt (Tabelle 1). Dr. *Hitchcock* hat ähnliche Resultate mit kristallisiertem Eieralbumin, Edestin, Kasein und Serumglobulin erhalten; man kann als festgestellt annehmen, daß diese Ergebnisse für die meisten, wenn nicht für alle Eiweißkörper gelten.

Tabelle 1.

$\frac{n}{10}$ HCl pro 100 ccm Lösung in ccm	Lösung ohne Gelatine		Lösung von 1 g isoelektrischer Gelatine in 100 ccm	
	p_H	p_{Cl}	p_H	p_{Cl}
2	2,72	2,72	4,2	2,68
3	2,52	2,54	4,0	2,53
4	2,41	2,39	—	—
5	2,31	2,29	3,60	2,33
6	2,24	2,26	3,41	2,25
7	2,16	2,18	3,23	2,18
8	2,11	1,12	3,07	2,11
10	2,01	2,01	2,78	2,025
15	1,85	1,85	2,30	1,845
20	1,27	1,76	2,06	1,76
30	1,55	1,59	1,78	1,60
40	1,43	1,47	1,61	1,47

Noch eine andere Tatsache geht aus den Titrationskurven hervor: Die Salze der Eiweißkörper sind weitgehend hydrolytisch gespalten. Wenn wir eine Säure, etwa HCl, zu isoelektrischem Eiweiß geben, so verbindet sich ein Teil der Säure mit dem Eiweiß unter Bildung von Proteinchlorid, der Rest der Säure bleibt

frei. So bildet sich dann ein Gleichgewicht aus zwischen freier Salzsäure, Proteinchlorid und nichtionisiertem (isoelektrischem) Eiweiß. Je mehr Säure man zu dem ursprünglich isoelektrischen Eiweiß zusetzt, um so mehr Proteinchlorid bildet sich, bis schließlich die gesamte Eiweißmenge als Proteinchlorid vorliegt. Man kann durch p_H -Messungen die Menge der freien Säure feststellen und dann durch eine einfache Rechnung erfahren, wieviel davon sich mit dem Eiweiß verbunden hat. Durch Sättigung der Eiweißlösung mit Säure kann das Verbindungsgewicht des Eiweißes mit Säure gefunden werden. So fand *Hitchcock*, daß das Verbindungsgewicht der Gelatine um 1090 herum liegt.

II.

Das kolloidale Verhalten der Eiweißkörper zeigt sich in der besonderen Wirkung der Elektrolyte — Säuren, Basen oder Salze — auf Eigenschaften, wie die Quellung von Eiweißgelen oder den osmotischen Druck oder die Viskosität, sie werden von Elektrolyten in sehr ähnlicher Weise beeinflusst, so daß man sie alle wahrscheinlich auf dieselbe Ursache zurückführen kann. Wir werden, wenn wir eine von diesen Erscheinungen, nämlich den osmotischen Druck erklären, damit implicite auch die übrigen Eigenschaften verständlich machen.

Es wurde der osmotische Druck in Eiweißlösungen (von Gelatine, kristallisiertem Eieralbumin, Kasein und Edestin) bestimmt, welche in 100 cem 1 g trockenes isoelektrisches Eiweiß und wechselnde Mengen 0,1 n Säure enthielten. Die Lösungen wurden in Kollodiumsäcke eingebracht und diese in eine eiweißfreie Außenflüssigkeit gehängt, die bei Beginn des Versuchs auf das p_H der dazugehörigen Eiweißlösung gebracht war. Die zu diesem Zweck verwendete Säure war natürlich die gleiche wie die in der Innenflüssigkeit enthaltene. 18 Stunden später wurde nach Einstellung des Gleichgewichtes der osmotische Druck bestimmt. Er hing in einer charakteristischen Weise von dem p_H der Eiweißlösung und von der Valenz des Säureanions ab. Dies zeigen die Kurven der Fig. 2, die sich auf Gelatinelösungen beziehen. Bei anderen Eiweißkörpern, wie Eiereiweiß, Kasein oder Edestin, erhält man gleiche Kurven. Diese Kurven zeigen, daß der osmotische Druck einer Eiweißlösung im isoelektrischen Punkt des Eiweißkörpers ein Minimum hat, daß er bei wenig mehr Säure sich sukzessive zu einem Maximum erhebt und daß weiterer Zusatz von Säure ihn wieder vermindert. Die Kurven zeigen weiter, daß nur die Valenz und nicht die Natur des Säureanions den osmotischen Druck einer Eiweißlösung beeinflusst. Wir können aus den Titrationskurven ablesen, daß bei der Phosphorsäure das mit dem Eiweiß verbundene Anion nicht PO_4^{---} , sondern einwertiges $H_2PO_4^-$ ist, und die Kurven der Fig. 2 zeigen auch, daß der Einfluß der Phosphor- und der Salzsäure auf

den osmotischen Druck der gleiche ist, wenn man ihn auf das gleiche p_H der Eiweißlösungen bezieht. Wir sehen weiter, daß der absteigende Ast der Kurve der Oxalsäure, die bei $p_H < 3$ als einbasische Säure auftritt, praktisch mit dem absteigenden Ast der Salzsäurekurve zusammenfällt. Die Kurve, die den Einfluß der Schwefelsäure darstellt, ist nur etwa halb so hoch wie die der Salzsäure. Und wir haben aus den Titrationskurven ersehen, daß das Anion des Proteinsulfats zweiwertig ist. Man hat gefunden, daß alle einbasischen Säuren, Bromwasserstoff, Salpetersäure, Essigsäure usw. und alle schwachen zwei- oder dreibasischen Säuren, etwa Wein-, Malon-, Zitronensäure, die bei $p_H < 4,7$ wie einbasische Säuren dissoziieren, die gleichen Kurven liefern wie Salzsäure und Phosphorsäure. Wir können daraus schließen, daß nur die Valenz und nicht die Natur der Säure den osmotischen Druck von Eiweißlösungen beeinflusst, daß ferner auf

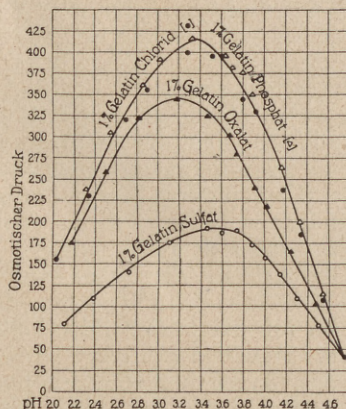


Fig. 2. Änderung des osmotischen Druckes der Eiweißlösungen unter dem Einfluß von Säuren. Der osmotische Druck hängt ab von dem p_H der Eiweißlösung und der Valenz des Säureanions.

der sauren Seite des isoelektrischen Punktes eines Eiweißes die als einbasisch auftretenden Säuren den osmotischen Druck in der gleichen Weise wie Salzsäure beeinflussen und daß schließlich dieser Einfluß beträchtlich größer ist als der der starken zweibasischen Säuren, wie Schwefelsäure.

Wenn man Alkali zu einer isoelektrischen Proteinlösung gibt, so vermehrt, wie man zeigen kann, wenig Alkali den osmotischen Druck, bei weiterem Zusatz kommt nach der Überschreitung eines Maximums allmählich wieder eine Senkung desselben zustande. Alle einwertigen alkalischen Kationen wie Li^+ , Na^+ , K^+ , NH_4^+ beeinflussen das p_H in derselben Weise; für die zweibasischen Ionen gilt dasselbe, nur liegt bei Verwendung von Ca^{++} oder Ba^{++} die Kurve der Alkaliwirkung nur etwa halb so hoch als die der Wirkung der einwertigen Alkalien.

Was schließlich die Salze anlangt, so besteht die von *Lillie* gefundene Tatsache zu Recht, daß

sie den osmotischen Druck einer Proteinlösung stets verringern.

Die Säure- und Salzkurven des osmotischen Druckes von Eiweißlösungen sind den Kurven, welche den Einfluß derselben Säuren und Salze auf Quellung und Viskosität darstellen, sehr ähnlich. Diese Ergebnisse sind für den kolloidalen Zustand charakteristisch und jede Theorie darüber muß imstande sein, solche Kurven nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ zu erklären.

Zsigmondy hat angenommen, daß der Einfluß von Säuren auf den osmotischen Druck auf einer Änderung der Dispersität des in Lösung befindlichen Eiweißes beruht; da man aber diesen Dispersitätsgrad nicht exakt messen kann, bedeutet diese Annahme nur eine Spekulation, denn sie gibt keine Erklärung dafür, daß Viskosität und Quellung sich ähnlich wie der osmotische Druck ändern. Die richtige Erklärung ist folgende: Setzt man Säure oder Alkali zu einer isoelektrischen Eiweißlösung, so wird je nach der zugesetzten Menge aus einem größeren oder kleineren Teil des Eiweißes ein ionisiertes Proteinsalz. Diese Ionisation bedingt die Besonderheiten des kolloidalen Verhaltens wegen der Unfähigkeit der Proteinionen, durch Membranen zu diffundieren, die von Kristalloiden leicht durchwandert werden, etwa Kollodium- oder Pergamentmembranen oder die Wände von Blutkapillaren oder wahrscheinlich auch die Membranen aller Zellen. Nun hat *Donnan* gezeigt, daß sich eine ungleiche Verteilung diffusibler kristalloider Ionen auf beiden Seiten einer Membran einstellt, wenn die Diffusion der einen Ionenart, wie bei den kolloidalen Ionen, durch die Membran gehindert ist, während die kristalloiden Ionen ungehindert passieren. Diese ungleiche Verteilung der diffusiblen Ionen ist der Grund für das kolloidale Verhalten der Eiweißkörper.

III.

Wenn man einen Kollodiumsack mit einer Gelatine-Chlorid-Lösung von $p_H = 3,0$ füllt und diesen Sack in eine rein wässrige Salzsäurelösung mit dem gleichen p_H von 3,0 eintaucht, so wandert Säure aus der Eiweißlösung in die eiweißfreie Außenflüssigkeit. Der Grund für diese ungleiche Verteilung der entgegengesetzt geladenen Ionen auf den beiden Seiten der Membran ist die Tatsache, daß die Membran wohl den H- und Cl-Ionen, aber nicht den Eiweißionen den Durchgang gestattet. *Donnan* hat auf Grund der Prinzipien der Thermodynamik gezeigt, daß, wenn osmotisches Gleichgewicht eingetreten ist, die Produkte der Konzentrationen der entgegengesetzt geladenen diffusiblen Ionen, etwa H und Cl in unserem Beispiel, auf beiden Seiten der Membran gleich sind. Wenn x die molare Konzentration der H- und Cl-Ionen in der Außenflüssigkeit, y die molare Konzentration der freien H- und Cl-Ionen in der Eiweißlösung und z die Konzentration der Chlorionen, die mit dem Protein verbunden sind, bedeutet, so wird das Gleich-

gewicht bestimmt durch die folgende Gleichung, die zuerst von *Procter* und *Wilson* zur Erklärung des Einflusses von Säure auf die Quellung angegeben wurde:

$$x^2 = y(y+z) \dots \dots \dots (1)$$

Wenn man den Einfluß der Wirkung von Säuren, Alkalien und Salzen auf den osmotischen Druck der Eiweißlösungen erklären will, muß man vorher untersuchen, ob die Änderungen des osmotischen Druckes unter dem Einfluß von Säuren (vgl. Fig. 2) einhergeht mit entsprechenden Unterschieden der Konzentration der diffusiblen Ionen in der Innen- und Außenflüssigkeit und ob diese Unterschiede aus der Donnanschen Gleichung (1) errechnet werden können.

Der Verfasser konnte feststellen, daß diese Beziehung in der Tat besteht, wenn man nämlich eine Eigenschaft der Eiweißlösungen, die so gut wie keine Beachtung in der Kolloidchemie gefunden hat, exakt bestimmt, nämlich die Membranpotentiale, die zwischen einer Eiweißlösung und der wässrigen Außenflüssigkeit bei osmotischem Gleichgewicht herrschen.

Wenn man die Donnansche Gleichung folgendermaßen schreibt:

$$\frac{x}{y} = \frac{y+z}{x}$$

so ist $\frac{x}{y}$ das Maß des molaren Überschusses an Wasserstoffionen in bezug auf die Wasserstoffionenkonzentration in der Innenflüssigkeit und $\frac{y+z}{y}$ ein Maß für den molaren Überschub der Chlorionen in der Innenflüssigkeit in bezug auf die Chlorionenkonzentration der Außenflüssigkeit. *Donnan* zeigte, daß zwischen den Lösungen innen und außen eine Potentialdifferenz vorhanden sein müßte, die bei 24° C den Betrag von $59 \times \log \frac{x}{y}$ Millivolt oder $59 \times \log \frac{y+z}{x}$ Millivolt hat. $\log \frac{x}{y}$ ist gleich dem p_H der Innenflüssigkeit minus dem p_H der Außenflüssigkeit. Das p_H der beiden Flüssigkeiten kann man leicht mit Wasserstoffelektroden bestimmen; $\log \frac{y+z}{x}$ ist gleich dem p_{Cl} der Außenflüssigkeit minus dem p_{Cl} der Innenflüssigkeit, und diese Größen können durch Titration oder mit Silberchloridelektroden bestimmt werden. Man kann nun andererseits die Potentialdifferenz zwischen der Eiweißlösung und der Außenflüssigkeit an einer Kollodiummembran direkt mit zwei identischen indifferenten Calomелеktroden (und gesättigter Chlorkaliumlösung) unter Verwendung eines Comptonelektrometers bestimmen. Wenn die ungleiche Verteilung der diffusiblen kristalloiden Ionen (z. B. H⁺ und Cl⁻ bei Gelatinechlorid) auf beiden Seiten der Membran wirklich durch die Donnansche Gleichung bestimmt ist, dann muß die Potentialdifferenz, die man direkt mit den identischen Calomелеktroden

feststellt, gleich der Potentialdifferenz sein, die man in Millivolt erhält aus der Beziehung 59 (p_H innen — p_H außen) oder 59 (p_{Cl} außen — p_{Cl} innen). Die Werte für p_{Cl} oder p_H können durch Titration oder durch geeignete elektrometrische Verfahren bestimmt werden. Der Verfasser hat solche Messungen angestellt und hat gefunden, daß bei Zusatz verschiedenen großer Säuremengen zu isoelektrischen Eiweißlösungen — z. B. von kristallinischem Eiereiweiß oder Gelatine oder Kasein — dann das gefundene Membranpotential immer mit dem aus der Donnanschen Gleichung berechneten Wert auf 1—2 Millivolt genau, d. h. innerhalb der Fehlergrenze, übereinstimmt. Aus diesen ausgedehnten Messungen von Membranpotentialen ergibt sich erstens, daß eine Eiweißlösung in einem Kollodiumsäckchen, welches Eiweißionen nicht, wohl aber kristalloide Ionen durchläßt, bei osmotischem Gleichgewicht mit einer wässrigen Außenflüssigkeit diese Außenflüssigkeit die kristalloiden Ionen in anderer Konzentration als die Innenflüssigkeit enthält und zweitens, daß der Unterschied der Konzentrationen aus Donnans Gleichung über das Gleichgewicht errechnet werden kann.

IV.

Wir sind jetzt in der Lage, die Kurven des osmotischen Druckes in der Figur 2 zu erklären. Die Kolloidchemiker würden es als erwiesen ansehen, daß diese Kurven durch den Einfluß der Säuren auf den Dispersitätsgrad oder durch irgendeine andere wirkliche oder imaginäre Eigenschaft des Eiweißkolloids bedingt sind. Bevor wir solchen Ideen nachgehen dürfen, müssen wir uns vor Augen halten, daß diese Kurven, die den beobachteten osmotischen Druck wiedergeben, nicht ausschließlich der Ausdruck für den osmotischen Druck der Proteinteilchen oder Proteinmoleküle und Proteinionen allein sind, sondern außerdem noch hervorgerufen werden durch die leicht nachweisbaren ungleichen Konzentrationen der kristalloiden Ionen auf beiden Seiten der Membran, entsprechend einer Donnanschen Gleichung. Mit anderen Worten: Wir müssen an dem gemessenen osmotischen Druck einer Eiweißlösung auf Grund des Donnanschen Gleichgewichts eine Korrektur anbringen, bevor wir Hypothesen über die Ursache der Säurewirkung aufstellen können. Zu diesem Zweck wollen wir den Betrag dieser Korrektur bestimmen. Wir beginnen bei der Kurve, die den Einfluß der Salzsäure auf den osmotischen Druck einer 1prozentigen Lösung von ursprünglich isoelektrischer Gelatine darstellt, und wir wollen nun überlegen, wie sich die Ionen in der Eiweißlösung und in der Außenflüssigkeit bei osmotischem Gleichgewicht verteilen und nehmen an, daß die Elektrolyten völlig dissoziiert sind, sowohl Gelatinechlorid wie Salzsäure. a sei die molare Konzentration der Eiweißmoleküle und Ionen, z die der mit dem ionisierten Protein verbundenen Cl-Ionen, y die molare Konzentration der Wasser-

stoffionen der freien Salzsäure in der Innenflüssigkeit und ebenfalls y die molare Konzentration der Chlorionen dieser Salzsäure. In diesem Fall ist der osmotische Druck der Eiweißlösung durch folgenden Ausdruck bestimmt:

$$a + 2y + z.$$

Hiervon müssen wir nun den osmotischen Druck der Salzsäure der Außenflüssigkeit abziehen. Wenn x die molare Konzentration der H⁺ der Außenflüssigkeit ist, so ist dies gleichzeitig die Konzentration der Cl⁻. Daraus folgt als osmotischer Druck einer Eiweißlösung der Ausdruck:

$$a + 2y + z - 2x.$$

Die Figur 3 zeigt, wie sich dieser Wert als Funktion der p_H der Eiweißlösung (d. h. y) ändert. Wenn man nun zu einer Theorie über den Einfluß der Salzsäure auf den osmotischen Druck einer Eiweißlösung gelangen will, so muß man zunächst den Wert des Ausdrucks $2y + z - 2x$ berechnen und ihn von dem beobachteten osmotischen Druck der Eiweißlösung subtrahieren. Wir wollen ihn die *Donnansche Korrektur* nennen. Hierbei kann y und x aus der p_H -Messung bestimmt werden, denn das p_H der Innenflüssigkeit ist $-\log y$ und das p_H der Außenflüssigkeit ist $-\log x$. z ist mittels der Donnanschen Gleichung (1) aus x und y zu berechnen:

$$z = \frac{(x + y)(x - y)}{y}$$

denn wir wissen, daß x und y durch das Donnansche Gleichgewicht bestimmt sind. Berechnet man nun den Wert von $2y + z - 2x$ für verschiedene p_H bei einer Gelatinechloridlösung (die Konzentration der ursprünglich isoelektrischen Gelatine soll immer dieselbe sein, in unserem Fall betrug sie 1%) und hieraus den osmotischen Druck, der aus dem Überschuß kristalloider Ionen der Innenflüssigkeit über die der Außenflüssigkeit resultiert, so findet man, daß diese Drucke fast identisch mit den beobachteten Drucken sind. Mit anderen Worten: Es stellt sich heraus, daß die Zunahme des osmotischen Druckes einer 1prozentigen Lösung von ursprünglich isoelektrischer Gelatine nach sukzessivem Zusatz geringer Säuremengen bis zu einem Maximum und die Verminderung des osmotischen Druckes nach weiterem Zusatz von Säure nicht auf irgendeiner Änderung des Dispersitätsgrades oder irgendeiner anderen tatsächlichen oder hypothetischen „kolloiden“ Eigenschaft des Eiweißes beruht, sondern lediglich darauf, daß die Eiweißionen nicht durch die für Kristalloide leicht durchgängige Kollodiummembran treten können. Als Folge dieser Tatsache muß die molare Konzentration der kristalloiden Ionen in der Innenflüssigkeit immer größer als in der Außenflüssigkeit sein. Was sich mit dem p_H der Gelatinelösung ändert, ist der zahlenmäßige Betrag der Differenz $2y + z - 2x$. Dies geht aus der Donnanschen Gleichung (1) hervor, nach welcher

$$x = \sqrt{y^2 + yz} \text{ oder } 2x = \sqrt{4y^2 + 4yz}$$

ist und

$$2y + z = \sqrt{4y^2 + 4yz + z^2}$$

Es ist klar, daß

$$\sqrt{4y^2 + 4yz + z^2} > \sqrt{4y^2 + 4yz}$$

sein muß, d. h. die Konzentration der kristalloiden Ionen der Innenflüssigkeit $2y + z$ ist stets größer als die Konzentration der entsprechenden Ionen der Außenflüssigkeit. Wenn wir für den Ausdrück der Donnan-Korrektur $2y + z - 2x$ den identischen Ausdruck:

$$\sqrt{4y^2 + 4yz + z^2} - \sqrt{4y^2 + 4yz}$$

einsetzen, wird es offenbar, warum der osmotische Druck beim isoelektrischen Punkt ein Minimum hat, warum wenig Säure ihn bis zu einem Maximum steigert und ein weiterer Zusatz wieder eine Verminderung bewirkt. Beim isoelektrischen Punkt ist das Protein nicht ionisiert, und da $z = 0$ ist, wird der ganze Ausdruck:

$$\sqrt{4y^2 + 4yz + z^2} - \sqrt{4y^2 + 4yz} = 0.$$

Daher ist der beim isoelektrischen Punkt gefundene osmotische Druck nur durch das Eiweiß bedingt, er ist aber sehr niedrig wegen des hohen Molekulargewichtes der Gelatine.

Bei geringem Säurezusatz (etwa Salzsäure) bildet sich Gelatinechlorid und es bleibt etwas freie Säure wegen der hydrolytischen Dissoziation übrig, daher nimmt sowohl z (die Konzentration der mit dem Eiweiß verbundenen Cl⁻) wie y (die Cl⁻ der durch Hydrolyse entstandenen freien Salzsäure) zu, aber z wächst zuerst stärker als y und daher kommt der Überschuß der Ionenkonzentration innen über die Ionenkonzentration außen, bis der größere Teil des Eiweißes in Proteinchlorid übergeführt ist, wobei der Ionenüberschuß innen maximal ist. Bei weiterem Zusatz von Säure wächst dann z verhältnismäßig wenig, während y beträchtlich zunimmt, so daß z gegen y zu vernachlässigen ist. Dies erklärt, warum die Donnan-Korrektur wieder bei genügendem Säuregehalt Null ist und warum der beobachtete osmotische Druck wieder so niedrig wird wie beim isoelektrischen Punkt.

Ebenso kann die Wirkung der Salze erklärt werden. Wir wollen annehmen, daß sich in dem Kollodiumsäckchen eine Gelatine-Chlorid-Lösung mit dem p_H 3,0 befindet, zu welcher wir Chlor-natrium fügen. Dann wird z (die Konzentration der Cl-Ionen, die mit der Gelatine verbunden sind) durch den Zusatz des Salzes nicht vermehrt, während y (die Konzentration der nicht mit Gelatine verbundenen Chlorionen) größer wird. So wird mit zunehmender Salzkonzentration der Wert des Ausdruckes:

$$\sqrt{4y^2 + 4yz + z^2} - \sqrt{4y^2 + 4yz}$$

kleiner werden und sich schließlich dem Grenzwert Null nähern.

Wenn wir kein Chlorid, sondern etwa NaNO_3 zu der Gelatinechloridlösung setzen, können wir annehmen, daß die in der Lösung befindliche Gelatine Gelatinenitrat ist, für welches die gleichen Überlegungen gelten.

Fig. 3 zeigt gleichzeitig die Kurven der osmotischen Drucke und der Donnan-Korrektur. Beide Kurven steigen parallel an und erheben sich vom isoelektrischen Punkt an bis zu einem Maximum, das bei dem beobachteten Drucke 450 mm Wasser beträgt und bei der Kurve der Donnan-Korrektur ganz wenig niedriger ist. Der beobachtete osmotische Druck muß auch höher sein als der aus der Donnan-Korrektur berechnete, eben wegen des osmotischen Druckes der Eiweißmoleküle selbst. Zwischen $p_H = 4,6$ und $3,2$ besteht eine konstante Differenz zwischen den beiden Kurven, die allerdings bei höheren Säurewerten verschwindet. Diese Differenz ist aller Wahrscheinlichkeit nach ein Maß für den Wert von a , d. h. den durch das Eiweiß selbst bedingten osmotischen Druck. Das Verschwinden der Differenz bei einem $p_H < 3,2$ ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß die Ungenauigkeit der zweiten Dezimale des p_H bei der Berechnung von z schon einen beträchtlichen Fehler bedingt, wenn das p_H zu klein ist. Die Fig. 3 zeigt weiter, daß die

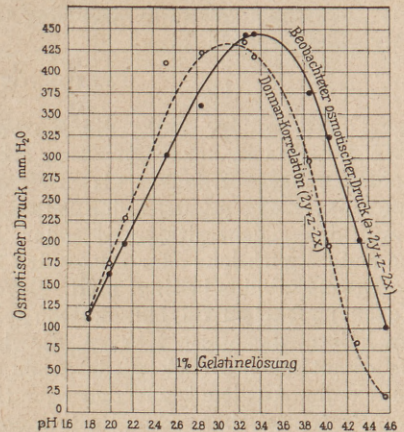


Fig. 3. Der Einfluß der Salzsäure auf den osmotischen Druck einer Eiweißlösung und die Donnan-Korrektur.

mit der Donnan-Korrektur versehene Kurve des osmotischen Druckes einen Einfluß der p_H auf den osmotischen Druck darstellt, der ausschließlich oder praktisch ausschließlich durch den Überschuß kristalloider Ionen in der Innenflüssigkeit bedingt ist, welcher Überschuß sich nach der Donnanschen Gleichung einstellt. Der osmotische Druck des Eiweißes selbst ändert sich entweder durch den Zusatz von Säure überhaupt nicht oder jedenfalls nicht so, daß die Änderung der Beobachtung zugänglich ist. Der „Dispersitätstheorie“ oder anderen Spekulationen über den kolloidalen Zustand bleibt also nichts zu erklären übrig. Die geschilderten Resultate sind von dem Verfasser für kristallisiertes Eiereiweiß und Kasein und von Hitchcock für Edestin gefunden worden. Wir verstehen jetzt, weshalb nur die Valenz und nicht die sonstigen Eigenschaften des Ions eine Bedeutung für den osmotischen Druck von Eiweißlösungen haben. Die Gleichung für das Gleich-

gewicht ist bei einer Eiweißverbindung mit einem einwertigen Ion zweiten, mit einem zweiwertigen Ion dritten Grades. Nur die Valenz des Ions und nicht seine sonstigen Eigenschaften geht in die Donnansche Gleichung ein.

Fassen wir diese Ergebnisse zusammen, so können wir feststellen: Das sogenannte kolloidale Verhalten von Eiweißlösungen ist, soweit der osmotische Druck betrachtet wird, nur die Folge von Gleichgewichten, wie sie die klassische Chemie kennt. Diese Gleichgewichte werden dadurch bedingt, daß durch die Gegenwart einer Membran, die nur kristalloide, aber nicht Eiweißionen durchläßt, die Konzentration der kristalloiden Ionen in der Eiweißlösung höher ist, als die in einer wässrigen Außenflüssigkeit. Das kolloidale Verhalten der Eiweißkörper hängt deshalb lediglich ab von der relativen Unfähigkeit der Proteinionen durch Membranen zu diffundieren, die leicht von kristalloiden Ionen durchwandert werden. Die Mehrzahl der pflanzlichen und tierischen Membranen ist hierzu zu rechnen, und man kann sich leicht eine Vorstellung davon machen, daß bei der Regelung des osmotischen Druckes in einem Organismus die Eiweißkörper von hoher Bedeutung sein müssen.

V.

Wir müssen nun noch kurz zeigen, wie die Quellung und die Viskosität der Eiweißlösungen ähnlich wie der osmotische Druck durch Elektrolyte geändert werden. Um das Resultat vorauszunehmen, so haben wir in beiden Fällen mit derselben Grundeigenschaft, nämlich dem osmotischen Druck, zu tun. Im Jahre 1910 kam *Procter* auf den genialen Gedanken, daß die Quellung der Gelatine ein osmotisches Phänomen sein könnte, und gemeinsam mit *J. A. Wilson* hat er in späteren Arbeiten diese Theorie durch quantitative Versuche gestützt, indem er die betrachteten Erscheinungen aus der Donnanschen Gleichung herleitete. *Procter* und *Wilson* zeigten, daß die Quellung eines festen Gelatinegels in Salzsäure quantitativ durch die Donnansche Gleichung erklärt werden kann, wenn man annimmt, daß die Konzentration der kristalloiden Ionen (in diesem Fall H und Cl) außen kleiner als innen ist. Aus dem durch diesen Donnaneeffekt bedingten Ansteigen des osmotischen Druckes innerhalb des Gels wird dieser Anteil der Säurewirkung hinreichend erklärt. Die Übereinstimmung der berechneten und beobachteten Werte ist ausgezeichnet.

Der Verfasser hält *Procters* Theorie über die Quellung und ihre experimentelle Bestätigung von *Procter* und *Wilson* für den besten Beitrag zur Kenntnis des kolloidalen Zustandes, der an Wichtigkeit gleich hinter der Donnanschen Theorie der Membrangleichgewichte seine Stellung findet. Die Autoren hatten nur eine Einzelheit nicht untersucht: die Membranpotentiale zwischen dem Gel und der mit ihm im Gleichgewicht stehenden Außenflüssigkeit. Der Verfasser konnte diese Lücke ausfüllen und zeigen, daß die beobachtete

Potentialdifferenz zwischen Gel und Außenflüssigkeit mit genügender Genauigkeit aus dem p_H -Wert des Gels minus dem p_H der Außenflüssigkeit mittels der Nernstschen logarithmischen Formel berechnet werden kann.

VI.

Es muß seltsam erscheinen, daß die Beeinflussung der Viskosität bestimmter Eiweißlösungen durch Elektrolyte in derselben Weise zu erklären ist, aber es ist wahrscheinlich wirklich so. Nach der Einsteinschen Formel steht die Viskosität einer wässrigen Eiweißlösung in einer linearen Abhängigkeit von dem relativen Volumen, das der gelöste Stoff in der Lösung einnimmt. Die Formel dafür ist:

$$\eta = \eta_0 (1 + 2,5 \varphi)$$

wobei η die Viskosität der Lösung, η_0 die des reinen Wassers und φ das Verhältnis der Volumina des gelösten Körpers zu dem des Lösungsmittels bedeutet. Wenn somit der Zusatz von wenig Säure zu einer 1 prozentigen isoelektrischen Gelatinelösung die Viskosität der Lösung erhöht, bei weiterem Zusatz schließlich ein Maximum erreicht wird und eine weitere Zugabe die Viskosität wieder vermindert, so folgt daraus, daß die wechselnden Säuremengen das relative Volumen ändern, welches die Gelatine in Wasser einnimmt. Das ist nur möglich, wenn Wasser von dem Eiweiß absorbiert wird, und die Frage ist nun, wie diese Wasserabsorption des Eiweißes unter der Säurewirkung zu erklären ist. Nach *Paulis* Anschauung sollte das ionisierte Protein sich mit einem Wassermantel umgeben, der dem nicht ionisierten Eiweiß fehlt. Wenn das der Fall wäre, sollten alle Eiweiß- und Aminosäurelösungen eine solche Säurewirkung auf ihre Viskosität erkennen lassen. Der Verfasser fand, daß bei den Aminosäuren und mindestens bei einem Eiweiß, nämlich dem kristallisierten Eiereiweiß, eine solche Beeinflussung durch Säure nicht festzustellen ist. Träfe die Annahme *Paulis* zu, so müßte sich das kristallisierte Eiereiweiß doch genau so wie die Gelatine verhalten. Der Unterschied zwischen der Gelatine und dem Eiereiweiß liegt darin, daß das erstere ein festes Gel bei nicht zu hoher Temperatur bildet, das letztere nicht. Der Bildung dieses zusammenhängenden Gels bei Gelatinelösungen geht die Entstehung submikroskopischer Aggregate voraus, welche Wasser einschließen und imstande sind zu quellen. Und diese Teilchen, welche die Vorstufen des Gels bilden, nehmen an Zahl und Größe mit der Zeit zu. Diese Vorstellung hat der Verfasser in der Weise geprüft, daß wässrige Suspensionen gepulverter Gelatine untersucht wurden. Solche Suspensionen hatten eine viel höhere Viskosität als eine frische Gelatinelösung. Dies Resultat konnte man erwarten, wenn es richtig ist, daß die Säurewirkung auf die Viskosität der Proteinlösungen durch die Quellung der submikroskopischen Gelteilchen bedingt ist. Es stimmt damit

weiter überein, daß die Viskosität von Eiereiweißlösungen von sehr kleiner Größenordnung ist. Dies erklärt sich auch aus der Tatsache, daß Lösungen des kristallisierten Eiereiweißes wenig oder keine Micellen enthalten. Nun konnte man weiter eine Zunahme der Viskosität der Suspensionen aus gepulverter Gelatine durch Säure oder Alkali finden, ganz ebenso wie bei der Quellung von Gelen oder beim osmotischen Druck von Eiweißlösungen. Die Viskositäten wurden bei 20° bestimmt. Hatte man die Suspension der gepulverten Gelatine geschmolzen und dann rasch auf 20° abgekühlt, so wurde die Viskosität erheblich verringert gefunden, der Einfluß der Säure war kaum mehr zu merken. Durch diese und eine Reihe analoger Versuche konnte man zeigen, daß die Ähnlichkeit der Elektrolytwirkung auf die Viskosität von Gelatinelösungen mit der Wirkung auf den osmotischen Druck deshalb zusammenhängt, weil in Wirklichkeit die Viskosität über Änderungen des Quellungszustandes submikroskopischer Eiweißteilchen zustande kommt. Der Beweis für diese Anschauung konnte durch den Nachweis eines Donnan-Gleichgewichtes zwischen den Teilchen der gepulverten Gelatine und der sie umgebenden schwachen Gelatinelösung völlig erbracht werden.

VII.

Wir wollen nicht verfehlen, an einem Beispiel zu zeigen, wie es kommt, daß die Unterlassung der Wasserstoffionenkonzentrationsbestimmung in Eiweißlösungen notwendig zu Irrtümern Veranlassung gibt. *Kuhn*²⁾ hat 1921 zeigen wollen, daß verschiedene Säuren derselben Valenzstufe die Quellung der Gelatine verschieden beeinflussen. Um so einen Beweis zu liefern, muß man von isoelektrischer Gelatine ausgehen, und man muß wieder die Wirkung der verschiedenen Säuren und die Quellung der isoelektrischen Gelatine bei derselben Wasserstoffionenkonzentration des Gels vergleichen, weil eben nur dann die Gele die gleiche Konzentration an Gelatineionen haben. *Kuhn* hat überhaupt das p_H seiner Gelatine nicht gemessen. Es macht nun einen erheblichen Unterschied, ob man Säure zu isoelektrischer Gelatine oder zu Gelatine von einem anderen p_H setzt. Ferner hat *Kuhn* nicht das p_H des Gels mit der Wasserstoffelektrode gemessen, sondern er hat die Wasserstoffionenkonzentration aus den Kohlrauschschen Tabellen so berechnet, als wenn es sich um eine Verdünnung der Säure mit reinem Wasser gehandelt und die Anwesenheit des Eiweißes das p_H nicht geändert hätte. Wir wissen aus unseren Titrationskurven, daß nach Säurezusatz zu isoelektrischer Gelatine das p_H größer ist, als nach Zusatz der gleichen Säuremenge zu dem gleichen Volumen reinen Wassers. Schließlich ist auch wegen des Donnanschen Gleichgewichtes das p_H innerhalb des Gels anders als das der Außenflüssigkeit; in der Kuhnschen Ar-

beit steht aber kein Wort über das Donnan-Gleichgewicht. Die Wasserstoffionenkonzentration der Eiweißlösungen, die *Kuhn* als gleich angesehen hat, waren also wegen all dieser Irrtümer ganz und gar voneinander verschieden und es ist sehr erklärlich, daß *Kuhn* zu dem Schluß kommt: Verschiedene einbasische Säuren beeinflussen die Quellung in verschiedener Weise, denn es wäre geradezu ein Wunder gewesen, wenn er mit dieser fehlerhaften Methode auch nur einmal die Wirkung zweier Säuren bei dem gleichen p_H verglichen hätte. Derselbe Einwand richtet sich gegen ähnliche ältere Versuche über die Elektrolytwirkung auf die Quellung, die dazu geführt hatten, daß die Autoren verschiedenen Anionen der gleichen Valenzstufe verschiedenen Einfluß auf die Quellung zuschrieben (Hofmeistersche Reihen). Bei all diesen Versuchen hatten die Autoren das p_H ihrer Gele nicht gemessen und bezogen irrtümlicherweise Wirkungen, die durch die Verschiedenheiten des p_H zustande kamen, auf die Verschiedenheiten des Säureanions.

VIII.

Somit kommen wir zu dem Schluß: Die Chemie der Eiweißkörper unterscheidet sich nicht von der Chemie der Kristalloide; Proteine verbinden sich nach stöchiometrischen Regeln mit Säuren und Alkalien und bilden elektrolytische dissoziierte Proteinsalze. Die ungeheuer großen Eiweißionen und -moleküle können nicht durch Gele oder viele Membranen diffundieren, die leicht durchlässig für die kleinen kristalloiden Ionen sind. Unter gewissen Bedingungen kommt deshalb eine ungleichmäßige Verteilung der diffusiblen Ionen zwischen einer Eiweißlösung und einer wässrigen Außenflüssigkeit oder zwischen einem Eiweißgel und einer wässrigen Lösung zustande. Hierbei ist die Gesamtkonzentration der kristalloiden Ionen in der Eiweißlösung oder innerhalb des Gels stets größer als in der wässrigen Außenflüssigkeit. Und diese Tatsache erklärt das kolloidale Verhalten der Eiweißlösungen und Gele. Die Messungen der Membranpotentiale beweisen, daß die Donnansche Theorie der Membrangleichgewichte die Anreicherung der kristalloiden Ionen in der Innenflüssigkeit richtig wiedergibt. Alle Elektrolytwirkungen auf den osmotischen Druck, die Quellung und die Viskosität können mit befriedigender Genauigkeit aus der Donnanschen Gleichung berechnet werden, die eine theoretische, nicht eine empirische mathematische Formel ist. Somit stellen wir fest: Es ist möglich, das kolloidale Verhalten der Eiweißkörper quantitativ auf Grund theoretischer mathematischer Ableitungen zu erklären. Die sogenannte Kolloidchemie, die zuerst den Eindruck einer neuen Chemie machte, scheint nur in dem Nichtbeachten einer Gleichgewichtsbedingung der klassischen Chemie bestanden zu haben, mindestens soweit die Proteine in Betracht gezogen werden. Diese Nichtbeachtung hatte zwei

²⁾ *Kuhn, A.*, Kolloidchemische Beihefte 1921, 14, 147.

Gründe, erstens die Unterlassung der pH -Messungen seitens der Kolloidchemiker und die dadurch bedingte Unbestimmtheit eines Faktors, der die wichtigste Variable bei all diesen Fragen darstellt, zweitens die Nichtberücksichtigung der Membranpotentiale der Eiweißlösungen und Eiweißgele. Hieraus geht hervor, daß die Theorie der Membrangleichgewichte zur Erklärung des kolloidalen Verhaltens der Eiweißkörper herangezogen werden muß.

Über Wachstum.

Von E. Stettner, Erlangen.

Das Wachstum ist eine Eigenschaft der belebten Welt. Diese Tatsache kann als unbestreitbar gelten, denn sie beruht auf einer Erfahrung, die täglich erneuert werden kann. Je mehr über das Problem des Wachstums gedacht und geschrieben wird, um so mannigfacher werden die Rätsel, welche dem Forschenden begegnen. Wenn ein Lebewesen wächst, es mag selbst der einfachste Organismus sein, der selbständige Lebensfähigkeit besitzt, nämlich die Zelle, so kann dieses Wachstum nicht allein durch einfaches Hinzufügen neuer Substanz, sondern nur unter gleichzeitigem Umbau des ganzen Zellkörpers geschehen. Neben der *Massenvermehrung* geschieht also beim Wachstum ein im einzelnen sehr verwickelter Vorgang der *inneren und äußeren Gestaltsänderung* (*Differenzierung*).

Aus dem Vorhandensein dieses doppelten Geschehens erhellt eine Vielheit von Möglichkeiten des Wachstumsverlaufs, wenn man bedenkt, daß diese beiden Faktoren in quantitativer, qualitativer und temporärer Richtung verschieden wirken können. Folgt das Wachstum der Norm, d. h. erfolgt das Wachstum artgleicher Wesen, die unter bestmöglichen Bedingungen leben, in weitgehender Ähnlichkeit, so müssen die qualitativen und quantitativen Veränderungen in der Zeiteinheit harmonisch und einheitlich verlaufen. Die Funktion verläuft mit einer artspezifischen Geschwindigkeit und Dauer.

Das Wachstum der höheren Lebewesen beginnt mit der Vereinigung der elterlichen Keimzellen. Massenzunahme und Reifung finden im allgemeinen mit dem Abschluß der geschlechtlichen Entwicklung ihr Ende. Dann gilt der Mensch als „erwachsen“. Die Wachstumsarbeit ist aber im erwachsenen Zustand keineswegs abgeschlossen, sondern sie wird zum Ergänzen von im Laufe des Lebens beständig verlorengehendem Material verwendet. Daß diese Wachstumsleistungen ihre natürlichen Grenzen nicht überschreiten, wird durch Hemmungseinrichtungen gewährleistet. Man kann die Lebensbahn eines Menschen in verschiedene Abschnitte zerlegen: die *Embryonalzeit* wird im Mutterleibe vollbracht, das in dieser Zeit angebahnte Wachstum wird in der *Kindheit* fortgesetzt, und mit der Vollendung der Geschlechts-

reife wird der *erwachsene Zustand* erreicht, danach werden die körperlichen Erscheinungen mehr und mehr von regressiven Vorgängen beherrscht, wir nennen sie *Altern*.

Die Art und Weise, wie sich die Wachstumsvorgänge beim Menschen abspielen, ist weitgehend von *inneren Kräften* beherrscht. Wir müssen annehmen, daß der gesamte Plan, nach welchem sich der größte Teil der Wachstumsvorgänge vollzieht, mit der Vereinigung der elterlichen Keimzellen festgelegt ist. In der befruchteten Eizelle schlummert demnach jene mächtige Energie, welche schließlich den Organismus mit all seinen Feinheiten zur Entfaltung bringt. Bei der Zellteilung

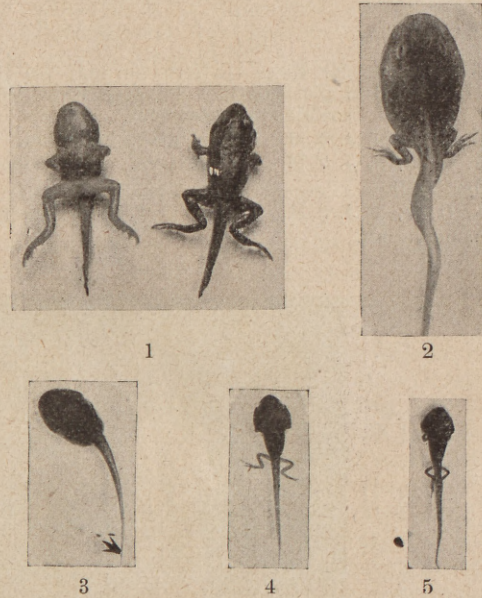


Fig. 1.

1. Normale Froschlarven gegen Ende der Metamorphose.
2. Gleichaltrige Froschlarven wie 1, durch Verfütterung von Thymusdrüse wesentlich größer (gesteigerte Massenzunahme), aber in der Entwicklung zurückgeblieben (verzögerte Differenzierung).

3. Normale Froschlarve.

4. und 5. Gleichaltrig wie 3, unter Einwirkung von Schilddrüsenfütterung beschleunigte Differenzierung (Bein- und Armknospen vorhanden) bei geringerer Körpergröße.

geht jene Energie in die Tochterzellen über. In jeder einzelnen Körperzelle ist daher für ihre ganze Lebensdauer ein Wachstumsvermögen vorhanden, welches sich in quantitativer und qualitativer Richtung auswirkt. In der Zelle ruht nicht nur die Fähigkeit der Vergrößerung und Vermehrung, sondern alle die feinen Eigenschaften, welche die Architektur des Gewebes bedeuten, in welchem eine Fähigkeit auf die feinsten Druck- und Zugspannungen zu antworten, ausgedrückt ist. Das Vermögen, den Organismus nach einem für Art und Rasse spezifischen Plan auszubauen, bleibt unbestreitbares Gebiet der Zelle. Je jünger das Einzelwesen ist, d. h. je näher es noch dem Befruchtungsaugenblicke steht, um so selbständi-

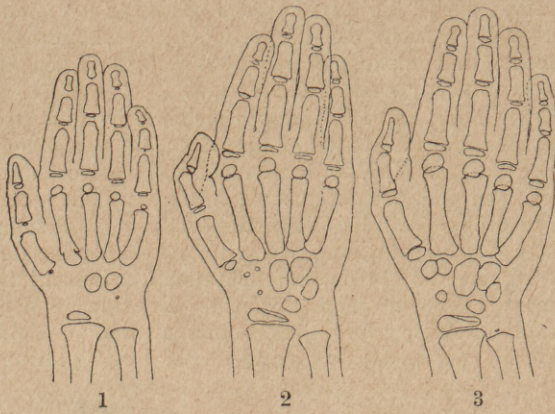


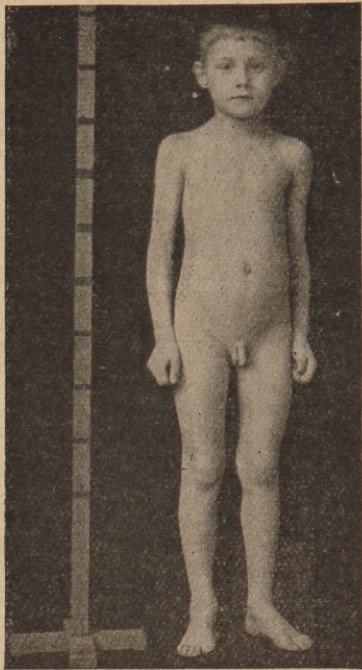
Fig. 2.

Verschiedenheit der Reife (Differenzierung) des Handskelettes bei drei gleichaltrigen Kindern verschiedenen sozialen Vorkommens.

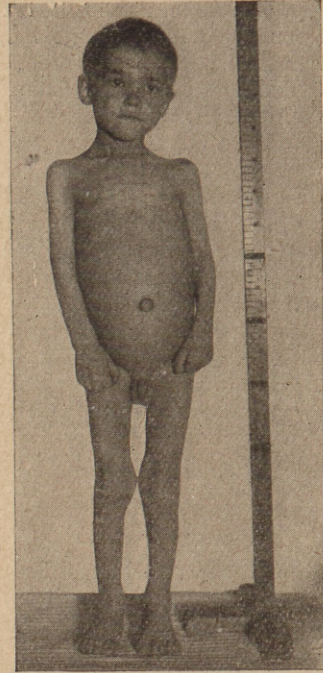
1. H. A. ♂ 5 J. 4 M. 105 cm groß, Landkind.
2. F. H. ♂ 5 J. 7 M. 111 cm groß, Arbeiterkind in der Stadt.
3. N. H. ♂ 5 J. 3 M. 118 cm groß, Großbürgerskind in der Stadt.

Untersuchungen über Regeneration und Transplantation von Geweben der letzten Jahre gelehrt. Aus diesen Überlegungen geht hervor, daß das Wachstum zu den vererbaren Eigenschaften gehört. Wenn dies nicht der Fall wäre, könnte niemals das Kind seinen Ahnen in körperlicher und seelischer Richtung ähnlich werden. Die Erbllichkeit dieser Anlagen erstreckt sich aber nicht nur auf Aufbau und Leistungsgröße des Organismus, sondern auch auf die Geschwindigkeit des Ablaufs dieser beiden Teilerscheinungen. Wir kennen Rassen, ja sogar Familien, in welchen alle Lebensvorgänge rasch, ja übereilt abzulaufen scheinen, daneben gibt es solche, bei denen das Gegenteil der Fall ist. Ob Beziehungen von der Geschwindigkeit dieser Vorgänge zur gesamten Lebensdauer bestehen, ist noch nicht erforscht. Dieselben inneren Kräfte also, welche die Konstitution des Einzelwesens bedeuten, stellen gleichzeitig die Triebfedern für das Wachstum dar.

Angesichts der großen Verschiedenheit der Erscheinungsformen, die sicherlich auch begründet werden kann, fragen wir uns, ob nicht etwa *äußere*



1



2

Fig. 3 A.

1. W. F. 8 J., 1 M., 126,5 cm groß, annähernd normaler Wuchs. 2. F. H. 8 J., 6 M., 97,5 cm groß, zeigt infolge chronischer Ernährungsstörung, Unterernährung und Mangel an Pflege starkes Zurückbleiben der Körpergröße und der Entwicklung (beachte die Verschiedenheit der Körperproportionen bei beiden Kindern). Größe entspricht einem Alter von $3\frac{3}{4}$ Jahren.

ger vermögen die Zellen zu wirken. Auch besitzen die Zellen niederer Organismen eine weitaus größere Selbständigkeit als die der höher differenzierten Tiere, das haben uns die prachtvollen

Kräfte am Werke sind, die Wachstumsbahn abzulenken und dadurch Variationen hervorzurufen. Angesichts der weiten Variationsgrenzen, innerhalb welcher das Wachstum normaler Kinder ver-

läuft, ist diese Frage wohl berechtigt. Und es ist eine beweisbare Tatsache, daß die Variationsbreite für Wachstumsvorgänge bei Berücksichtigung äußerer Kräfte zwar nicht vollkommen, aber doch weitgehend eingeengt werden kann.

Ohne das Vorhandensein äußerer Reize kann Wachstum auf die Dauer gar nicht stattfinden. Grundbedingung dafür ist eine genügende und angepaßte *Ernährung*. Mit der Nahrung müssen dem wachsenden Menschen nicht nur diejenigen Stoffe zugeführt werden, mit denen sein Bestand erhalten werden kann, sondern der Bedarf ist in der Wachstumsperiode größer, weil zu dem Bestande von Tag zu Tag neue Masse hinzugefügt werden muß. Von den einzelnen Nahrungsbestandteilen, die notwendig sind, kann man keinem den Vorzug geben. Eiweiß, Fette, Kohlehydrate, Salze, Vitamine und Wasser sind gleichwichtig und gegenseitig nicht vertretbar. Beim Stoffaustausch, der zwischen Gewebe und Zelle beständig stattfindet, spielen Lipoide, Salze und Wasser eine ganz besondere Rolle, weil durch sie der Grad der Durchlässigkeit der Zellwand bestimmt und ein physikalisch notwendiger Spannungszustand gewährleistet wird. Neben der Ernährung, die für das Wachstum eine *conditio sine qua non* darstellt, wirken aber noch mehrere an-

phischen, klimatischen, historischen und sozialen Umwelt. Anthropologische und psychologische Beobachtungen lehren, daß bei unter gleichen *geographischen* Bedingungen lebenden Menschen, selbst dann, wenn sie ursprünglich verschiedenen Rassen angehörten, im Laufe der Zeit eine weitgehende Annäherung in Gestalt und Charakter zu beobachten ist (Amerikaner). Unterstützend für diesen eigenartigen Vorgang kommen allerdings die Gleichheit der verwandten Bodenfrüchte in der Ernährung, die allmählich ähnlich gewordenen Lebensgewohnheiten als formbestimmend in Betracht. Die Folgeerscheinungen der *Klimawirkungen* kommen am deutlichsten in den Schwankungen der Wachstumsgeschwindigkeit in den verschiedenen Jahreszeiten zum Ausdruck. Schon seit *Malinghansen* ist uns die raschere Größenzunahme der Kinder in den Sommermonaten bekannt. Von der Vielheit der Dinge, welche den Sammelbegriff des Klimas ausmachen, sind in dieser Hinsicht Licht und Wärme vielleicht die wichtigsten. Freilich darf man nicht außer acht lassen, daß im Sommer die Nahrung wesentlich vitaminreicher ist, so daß auch hier eine indirekte Ernährungswirkung vorliegen kann.

Für den Einfluß der *historischen* Verhältnisse hat jüngst *Rößle* einen beachtenswerten Beleg gebracht, indem durch Vergleich von Körpermaßen festgestellt werden konnte, daß die derzeitigen Jenenser Schulkinder durchschnittlich um einige Zentimeter größer sind als die vor 40 Jahren. Die gleiche Erscheinung tritt zutage, wenn wir die Körpermaßzahlen des Belgiers *Quételet* mit den heutigen Durchschnittszahlen vergleichen. Zur Erklärung dieser merkwürdigen Tatsache, die im ersten Augenblick rätselhaft erscheint, muß man die Wirksamkeit der Lebensgewohnheiten der Menschen heranziehen, die mit den Fortschritten der Zivilisation andere geworden sind. Im kleinen wiederholt sich nämlich derselbe Vorgang an den Kindern verschiedenen *sozialen* Herkommens. Das Wachstum der einfach aufwachsenden Kinder unserer Bauern vollzieht sich nämlich in etwas anderen Bahnen als bei den Stadtkindern; die größten Verschiedenheiten finden sich gegenüber den Kindern der gehobenen Stände. Die Hauptunterschiede bestehen darin, daß die Landkinder im Vergleich zu den Stadtkindern der gleichen Altersstufe eine geringere Körperlänge besitzen und eine langsamere Entwicklung durchmachen, so daß selbst der Zeitpunkt des Eintretens der Geschlechtsreife ein späterer sein kann. Die Gründe für ein solches Geschehen sind sehr schwer zu finden. Man kann sich vorstellen, daß infolge des reichlicheren Aufenthaltes im Freien, bei Hitze und Sonnenschein, bei Regen und Kälte die Wärmeregulierung und damit der gesamte Stoffhaushalt des Landkinds eine so große Belastung erfährt, daß daraus Hemmungen der Wachstumsgeschwindigkeit entstehen. Auf der anderen Seite unterliegen die Großstadtkinder all den aufreizenden, das Nervensystem beständig

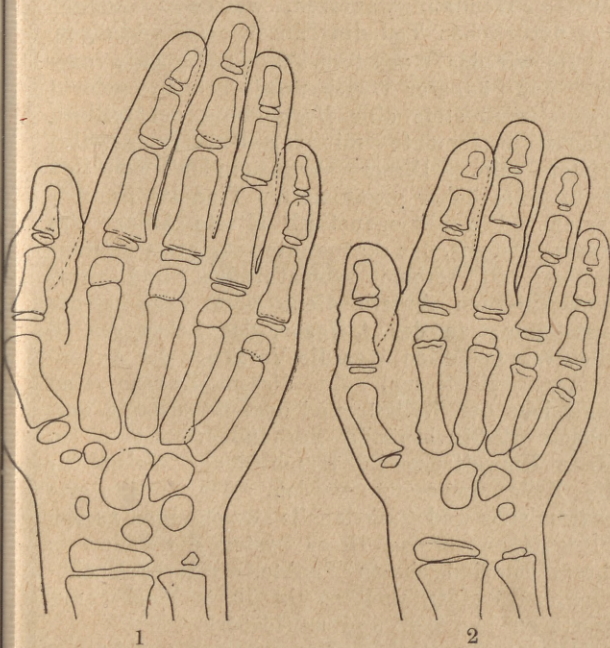


Fig. 3 B.

1. Röntgenogramm des Handskelettes von W. F. Annähernd normale Verhältnisse.
2. Röntgenogramm des Handskelettes von F. H. Differenzierung des Skelettes entspricht einem Alter von $3\frac{1}{2}$ Jahren.

dere Kräfte auf das Wachstum ein. Hier kommt vor allem der sogenannte „*Lebensraum*“ in Betracht, in welchen ein Mensch hineingeboren wird. Darunter versteht man die Gesamtheit der geogra-

peitschenden Eindrücken des modernen Verkehrs und der Einrichtungen der Zivilisation. Betrachten wir die geistige Reife eines kleinen Stadtkindes der höheren Stände, und vergleichen damit die eines Landkindes gleichen Alters, so wird der Unterschied hinsichtlich des Wissensschatzes, kurz aller der Dinge, welche gelernt werden können, zugunsten des Stadtkindes ausfallen. Es scheint, daß die durch Übungen und erzwungene Inanspruchnahme erzeugte höhere Differenzierung des Gehirns eine solche der übrigen Gewebe nach sich zieht. (Fig. 2¹.)

Eine Durchsicht der Wirkungsweise der äußeren Bedingungen zeigt, daß auch beim Menschen Abweichungen von der individuellen Wachstumsbahn erzielt werden können. Sie zeigen sich in Form quantitativer Änderungen in der Zeiteinheit an, während die qualitativen Leistungen des Wachstums, welche die Zugehörigkeit des Einzelwesens zu einer bestimmten Art, Rasse oder Familie bestimmen, von *physiologischen* Reizen der Außenwelt nicht durchbrochen werden können. Da die qualitative Wachstumsarbeit mit den oben geschilderten Aufgaben der Körperzelle zusammenfällt, erkennen wir, daß die Wachstumsfähigkeit der Zelle wohl gewisse Modifikationen erleiden kann, innerhalb einer großen Toleranzbreite aber stets in spezifischer Weise anspricht. Erst wenn die Belastung der Zelle, etwa durch Krankheit zu groß wird, wenn beispielsweise ein zu großes oder zu geringes Angebot von Nahrung oder Gifte einen „Schaden“ an der Zelle erzeugen, dann kommen allerlei Störungen des Wachstums des gesamten Körpers oder seiner Teile zutage, welche den Verlust der Individualspezifität bedeuten und selbst manchmal die Familienähnlichkeit vermissen lassen. (Fig. 3 A und B.)

Als eine weitere Frage ergibt sich, wie die Wachstumsarbeit im Organismus geleistet wird? Wir müssen uns dabei stets vor Augen halten, daß die Veränderung im Körper, die wir als Wachstum erkennen, das Ergebnis der Wirksamkeit der inneren und äußeren Kräfte ist. Sicher ist, daß nur das Ineinandergreifen eines fein gegliederten Räderwerkes den Organismus in eine gesetzmäßige Entfaltung bringt. Die plastische Masse und Hüterin dieser Gesetzmäßigkeit ist die Zelle, während dagegen die äußeren Faktoren stets wechselförmig eingreifen. Der Umfang der Zelleistung an der Wachstumsarbeit wurde bereits oben angedeutet. Das Problem, Zellen außerhalb des Organismus zur Vermehrung und Entwicklung zu bringen, kann in seinen Grundzügen als gelöst betrachtet werden, das haben uns die *Carrel'schen* Gewebekulturen gezeigt, mit welchen es gelingt, Zellen bis in das Unendliche an Zeit und Raum wachsen zu lassen, selbst wenn der Spender dieser Zellen längst nicht mehr zu den Lebenden zählt. Im Verbands eines Organismus aber vermag ein der-

art schrankenloses Wachstum nicht zu geschehen, durch Hemmungseinrichtungen werden hier Grenzen gezogen. Innerhalb eines Organismus bestimmen mechanische, funktionelle und chemische Kräfte die Größe der Wachstumsarbeit.

Zu den *mechanisch* wirkenden Kräften sind die Schwerkraft, Osmose und Endosmose und elektrische Spannungsunterschiede zu rechnen. Durch sie geschehen die wichtigsten Leistungen des Stoffaustausches, der Aufnahme von nährenden Substanzen und der Abscheidung und Ausstoßung störender Stoffwechselschlacken. Dadurch, daß beim mehrzelligen Organismus die Zellen im Verbands und nicht mehr einzeln auftreten, schafft jeder Nachbar durch Raumbegrenzung, durch Druck- und Zugwirkung besondere mechanische Bedingungen. So fein auch die Regulierungseinrichtungen im Organismus abgestimmt sind, um die Zusammensetzung des Körpers konstant zu erhalten, im Laufe der Zeit kommt es dennoch zur Abnahme der Elastizität der Gewebe und zur Änderung des Aggregatzustandes wichtiger Zellbestandteile, wodurch ein weiterer mechanischer Faktor zur Wirkung kommt. Dieses zuletzt erwähnte Moment, im Zusammenhang mit Entwässerung und Zunahme der fibrillären Substanzen gehört zu den wichtigsten Hemmungsfaktoren, welche schließlich den natürlichen Tod des Einzelwesens vermögen.

Da wir das Wachstum als das Ergebnis innerer und äußerer Triebkräfte kennen gelernt haben, muß stets eine Verbindung der zelligen Wachstumselemente mit der Umwelt gewährleistet sein. Dieser vermittelnden *Funktion* dient beim höher organisierten Tier das Nervensystem. Die phylogenetisch älteste Anlage des Nervensystems, das sogenannte vegetative Nervensystem, mit seinem sympathischen und parasympathischen Anteil, dient vom Tage seiner Entstehung an der Aufgabe, das Lebewesen in allen seinen Teilen über die Vorgänge der Außenwelt zu orientieren. Zu diesem Zwecke sind zahlreiche der Willkür und dem Bewußtsein entzogene Reflexvorgänge vorhanden, mit deren Hilfe Umweltreize in verschiedener Weise für die Zelle umgesetzt werden. Durch innigste anatomische und funktionelle Beziehungen zu den Blutgefäßen vermag dieses System die Zellen an ihrem empfindlichsten Punkte, an ihrer Ernährung, zu treffen und so in ihrer Wachstumsarbeit zu hemmen und zu fördern.

Dieses vegetative Nervensystem steht in innigster *wechselseitiger* Beziehung zu einem weiteren Organsystem, der Gesamtheit der innersekretorischen Drüsen. Sie senden hemmende und fördernde *chemisch* wirksame Kräfte in das Blut und an jede einzelne Zelle. Sie greifen unmittelbar an, und mit Hilfe des Nervensystems, dessen Tonus sie bestimmen. Ihre Tätigkeit ist nicht in allen Altersstufen die gleiche, denn sie unterliegen selbst einer Entwicklung und die einzelnen Drüsen gegenseitiger Beeinflussung.

¹) Aus Arch. f. Kinderhk. I. XVIII. Bd.

Besonders während der Kindheit lassen sich unverkennbar Zeitabschnitte unterscheiden, in denen einmal die eine, einmal die andere innersekretorische Drüse vorherrscht. Die von *Stratz* u. a. in der kindlichen Lebensbahn unterschiedenen Perioden der Fülle und Streckung erfahren durch dieses wechselnde Verhalten dieser Drüsen eine gewisse Erklärung, zumal ihre Tätigkeit so wirkungsvoll ist, daß der Ausfall, die gesteigerte oder abwegige Wirksamkeit der einen oder anderen Drüse der äußeren Gestalt ein spezifisches Gepräge verleiht. Das Ineinanderspielen dieser Drüsen gleicht einem Kampf, aus welchem schließlich plangemäß die Pubertätsdrüse mit dem Siege hervorgeht und die bedeutendste Umwandlung im Organismus hervorruft. Mit dem Abschluß ihrer Entwicklung ist die Reife des Individuums vollzogen und, abgesehen von regressiven Vorgängen, seine Metamorphose beendet.

Mit diesen Ausführungen war ich bestrebt, in übersichtlicher Form einen Einblick in die *allgemeinen* Vorgänge, die sich beim Wachstum abspielen, zu geben und die Abhängigkeit des körperlichen Geschehens von der Umwelt zu schildern. Das Problem des Wachstums ist so reich an Fragen, daß es im Rahmen dieser zusammenfassenden Darstellung nicht möglich war, in die Tiefe zu dringen und Einzelheiten zu schildern. Alle Zweige der Naturwissenschaft vermögen zur Lösung des Wachstumsproblems beizutragen, denn jede Naturwissenschaft sucht bis zum Ursprung des Lebens vorzudringen, und an der Quelle des Lebens ruht das Geheimnis des Wachstums.

Interferenzmethode zur Prüfung optischer Systeme.

Von *E. Bratke*, Berlin, und *E. Waetzmann*,
Breslau.

1. Altbekannt ist das Verfahren, mit Hilfe der Newtonschen Interferenzkurven die Flächenform der äußeren Begrenzung von Linsen festzustellen. Die Abbildungsfehler hängen aber nicht nur von der Form der brechenden Flächen ab, sondern auch von dem Brechungsquotienten und von seinen örtlichen Schwankungen. Bei Kombinationen von Linsen kann zudem die Zentrierung mangelhaft sein, oder es können innere Spannungen durch das Verkitten oder durch die Fassung hervorgerufen werden. Es ist deshalb von Wichtigkeit, die Abbildung durch das *fertige System* experimentell zu prüfen und mit dem theoretisch geforderten Strahlengang zu vergleichen.

Die Methode, die wir im folgenden kurz beschreiben wollen, hat den Zweck, den Korrektionszustand eines fertigen optischen Systems *vermittels Interferenz* qualitativ und quantitativ zu untersuchen. Unsere Methode wurde erstmalig

vor zehn Jahren beschrieben, und an Hand von Interferenzbildern wurde ihre *qualitative* Brauchbarkeit gezeigt¹⁾. Infolge des Krieges konnte die *quantitative* Durcharbeitung erst vor wenigen Jahren aufgenommen werden²⁾. Inzwischen ist auch bei der Firma Adam Hilger in London von *F. Twyman*³⁾ eine mit der unserigen im Prinzip gleichartige Methode wenigstens für *qualitative* Zwecke ausgearbeitet worden. Hierbei ist das Vorhandensein unserer Methode der Aufmerksamkeit *Twymans* offenbar entgangen, denn obwohl die sonstige deutsche Literatur über Linsenprüfungen in seinen Arbeiten ausführlich zitiert ist, wird unsere Methode nirgends erwähnt. Der Kern beider Methoden ist der, daß die Abbildungsfehler eines optischen Systems Veranlassung für das Auftreten von Interferenzkurven geben, die bei idealer Abbildung nicht vorhanden wären. Ist die Anordnung derart getroffen, daß schon bei idealer Abbildung Interferenzkurven auftreten, so dienen als Kriterium für die Linsenfehler die Abweichungen in den wirklich beobachteten Interferenzbildern von den für ideale Abbildung theoretisch geforderten Interferenzbildern. Es liegt in der Natur der Interferenzen, daß eine derartige Methode besonders empfindlich sein muß und deshalb geeignet sein dürfte, auch der optischen Technik Dienste zu leisten. Aus diesem Grunde haben wir uns mit dem qualitativen Resultat, den Korrektionszustand eines optischen Systems in sehr einfacher und reizvoller Weise aus Interferenzbildern erschließen zu können (*Waetzmann*), nicht begnügt, sondern haben versucht, die Methode auch quantitativ brauchbar zu machen (*Bratke*). Wie die Untersuchungen *Bratkes* zeigen, ist das bereits weitgehend hinsichtlich der auf sphärischen und chromatischen Abweichungen beruhenden Abbildungsfehler gelungen. Inwieweit die Methode auch zur Bestimmung von Fehlern brauchbar ist, die bei schief einfallenden Strahlenbüscheln auftreten, wird zurzeit im Breslauer physikalischen Institut untersucht.

2. *Mascart*⁴⁾, *Hurion*⁵⁾ und vor allem *Lummer*⁶⁾ haben folgende Interferenzerscheinung behandelt: Ein Lichtstrahl fällt (Fig. 1) auf die planparallele Platte *P* auf und teilt sich in zwei Anteile 1 und 2, die in der hinteren Brennebene der Linse *L* vereinigt werden. Senkrecht zur optischen Achse von *L* steht ein Spiegel *S*, der parallel zu seiner Ebene verschoben werden kann. *S* soll zunächst in der Brennebene von *L* stehen („Nullstellung“ des Spiegels). Nachdem die beiden Teilstrahlen an *S* reflektiert worden sind, durchsetzen sie zum zweiten Male die Linse *L*

¹⁾ *E. Waetzmann*, Ann. d. Phys. 39, 1042, 1912.

²⁾ *E. Bratke*, Diss. Breslau 1922.

³⁾ *F. Twyman*, Phil. Mag. (6) 35, 49, 1918, und 42, 777, 1921.

⁴⁾ *Mascart*, Ann. chim. phys. 23, 149, 1871.

⁵⁾ *Hurion*, Journ. de phys. (3) 1, 414, 1892.

⁶⁾ *Lummer*, Wied. Ann. 23, 513, 1884.

und fallen auf P auf. Hier wird 2 an der Vorderfläche als $2'$ und 1 an der Hinterfläche als $1'$ reflektiert. Der Gangunterschied von $1'$ und $2'$ ist gleich Null. Fällt also ein ganzes Lichtbündel auf P auf, so erscheint das Gesichtsfeld gleich-

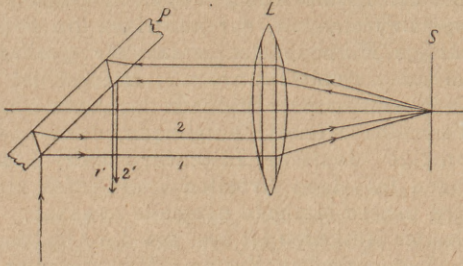


Fig. 1. Schematische Darstellung des Strahlenganges.

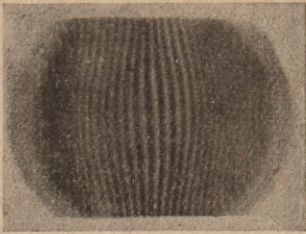


Fig. 2.

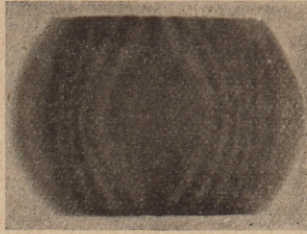


Fig. 3.

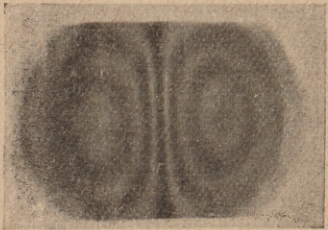


Fig. 4.
Sphärisch unterkorrigiertes System.

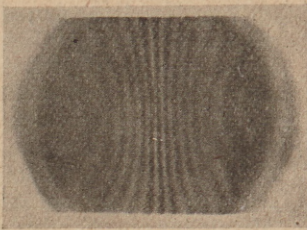


Fig. 5.

mäßig hell. Wird der Spiegel jetzt in der Richtung der Linsenachse ein wenig aus seiner Nullstellung verschoben, so fallen die an S reflektierten Strahlen unter etwas anderen Winkeln auf P auf, die Strahlen $1'$ und $2'$, die in der vorderen Brennebene von L vereinigt werden, haben einen endlichen Gangunterschied, und wenn wir ein ganzes Lichtbündel auf die Platte auffallen lassen, so erhalten wir eine ausgedehnte Interferenzerscheinung.

Die Interferenzkurven sind äquidistante vertikale Gerade, die symmetrisch zu einem Zentralstreifen angeordnet sind, der etwas seitlich der optischen Achse liegt. Die Streifenabstände werden um so kleiner, je weiter der Spiegel aus seiner Nullstellung entfernt wird. Dabei ist es gleichgültig, in welcher Richtung er verschoben wird. Die Erscheinung ist also symmetrisch zur Nullstellung des Spiegels. Befindet er sich in der Nullstellung selbst, so treten keine Interferenzstreifen mehr auf.

Die Theorie führt aber nur dann zu dieser einfachen Interferenzerscheinung, wenn ideal abbildende Linsen vorausgesetzt sind. Daß Lummer trotzdem seine theoretischen Resultate experimentell bestätigt fand, liegt in erster Linie daran, daß er bei verhältnismäßig großen Entfernungen des Spiegels aus seiner Nullstellung beobachtet hat und außerdem als Linsensysteme Fernrohr-objektive benutzte, die sphärisch gut korrigiert zu sein pflegen.

3. Im allgemeinen erhält man aber, namentlich in unmittelbarer Nähe der Nullstellung des Spiegels, Interferenzkurven, die von der geradlinigen Form durchaus abweichen. Diese Abweichungen rühren von den Abbildungsfehlern des Linsensystems her und sind je nach dem Korrek-

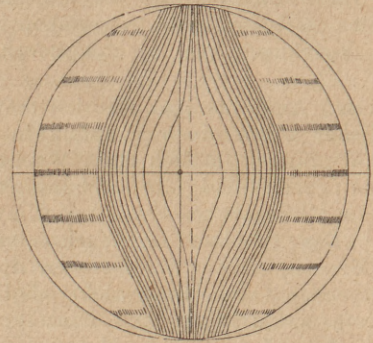


Fig. 6 a.



Fig. 6 b.

Vergleich zwischen Theorie (6 a) und Experiment (6 b).

tionszustande desselben und je nach den sonstigen Versuchsbedingungen (Plattendicke) mehr oder weniger ausgeprägt. Die Kurvenformen der Fig. 2—5 erhält man an einem sphärisch unterkorrigierten System, wenn der Spiegel aus größerer Entfernung außerhalb der Brennweite von L (Fig. 2) sich seiner Nullstellung stark genähert hat (Fig. 3), durch diese soeben hindurchgewandert ist (Fig. 4) und sich dann in der bisherigen Verschiebungsrichtung wieder weiter von der Nullstellung entfernt hat (Fig. 5). Die Photographien geben nicht das Bild der ganzen Objektivöffnung wieder, weil die Höhe der planparallelen Platte nicht ausreichte. Bei einem sphärisch überkorrigierten System würden die Kurvenformen der Fig. 2—5 im entgegengesetzten Sinne durchlaufen, wenn der Spiegel aus größerer Entfernung her allmählich genähert wird und durch die Nullstellung hindurchwandert. Wer im Lesen der Interferenzbilder etwas Übung hat, gewinnt schon durch die

subjektive Beobachtung der Kurven bei Spiegelverschiebung ein gutes *qualitatives* Bild von dem Korrektionszustand des Systems. In der Nullstellung des Spiegels ist die Empfindlichkeit besonders groß. Bei idealer Abbildung sollte hier ja das ganze Gesichtsfeld von gleichmäßiger Helligkeit erfüllt sein, während sich die geringsten Spuren eines Abbildungsfehlers durch das Auftreten von Interferenzkurven bemerkbar machen. Die Form dieser Kurven und ihre Verteilung über das Gesichtsfeld geben in besonders einfacher Weise ein Bild der sphärischen Fehler. Das Nachschleifen der Linse zur Beseitigung dieser Fehler hat dann in der Weise zu erfolgen, daß diese Kurven gewissermaßen ausradiert werden.

und die experimentell gefundenen Interferenzkurven für drei verschiedene Spiegelstellungen nebeneinander gestellt. Fig. 6 bezieht sich auf die Nullstellung des Spiegels. Man sieht, daß die Linse nur in der unmittelbaren Umgebung des Mittelpunktes ideal abbildet. Ferner erkennt man aus der nach den Rändern zu stark anwachsenden Zahl der Kurven — sie sind zum Teil nur angedeutet —, daß die sphärische Aberration sehr groß ist. In Fig. 7 ist der Spiegel, von der Nullstellung aus gerechnet, der Linse um 1 mm und in Fig. 8 um 2 mm genähert. Es treten jetzt „Quellpunkte“ auf, die mit wachsender Annäherung des Spiegels an die Linse nach den Rändern der Erscheinung zu wandern. Die gute Übereinstimmung der beobachteten mit den

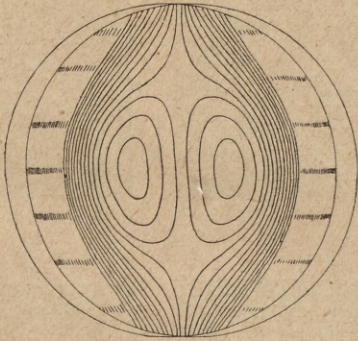


Fig. 7 a.



Fig. 7 b.

Vergleich zwischen Theorie (7 a) und Experiment (7 b).

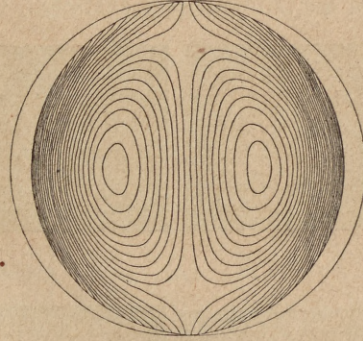


Fig. 8 a.

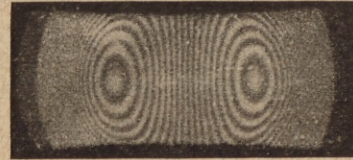


Fig. 8 b.

Vergleich zwischen Theorie (8 a) und Experiment (8 b).

Soll die Chromasie der Vereinigungsweiten geprüft werden, so wird zunächst die Nullstellung des Spiegels für eine bestimmte Wellenlänge eingestellt und danach für eine andere Wellenlänge.

4. Bevor der Versuch gemacht werden konnte, rückwärts die exakten Werte der Abbildungsfehler aus den Interferenzkurven zu entnehmen, mußte geprüft werden, ob die bei nicht idealer Abbildung — also bei bestimmten vorgegebenen Linsenfehlern — theoretisch errechneten Kurven mit den an dem betreffenden Linsensystem experimentell gefundenen Kurven wirklich genau übereinstimmen. Auf die ziemlich umständliche Berechnung sowie auf irgendwelche Einzelheiten soll hier nicht eingegangen werden, sondern es soll nur an einem Beispiel (einfache Linse von 95 mm mittlerer Brennweite, unterkorrigiert) gezeigt werden, daß die Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment eine fast vollkommene zu nennen ist.

In den Fig. 6—8 sind die berechneten

berechneten Kurven ersieht man schon rein qualitativ daraus, daß die Zahl der zwischen den Quellpunkten auftretenden Interferenzkurven in Theorie und Experiment die gleiche ist, und daß das Verhältnis des Abstandes der Quellpunkte voneinander zu dem Durchmesser des Interferenzbildes ebenfalls in beiden Fällen übereinstimmt. Genaue Ausmessungen ergeben auch vorzügliche quantitative Übereinstimmung.

5. Geht man jetzt dazu über, aus den beobachteten Interferenzkurven eines optischen Systems rückwärts dessen sphärische Aberration zu berechnen, so stößt man zunächst auf gewisse Schwierigkeiten, die hier nicht besprochen werden können. Es ließ sich aber (*Bratke*) theoretisch und experimentell zeigen, daß bei geeigneter Wahl der Versuchsbedingungen — dünne planparallele Platte und im Verhältnis zur Brennweite des Systems große Entfernung des Beobachtungsapparates — die Methode auch *quantitativ* gut brauchbar ist. Über eine Abänderung

der Versuchsanordnung, die noch genauere Meßergebnisse verspricht, haben wir unlängst an anderer Stelle berichtet⁷⁾.

6. Es sollen noch einige Kurvenaufnahmen mitgeteilt werden, die weitere charakteristische Merkmale zeigen.

Die Fig. 9—12 sind an einem Zielfernrohrobjektiv von 160 mm Brennweite aufgenommen. Sie werden der Reihe nach durchlaufen, wenn sich der Spiegel zunächst (9 und 10) außerhalb der Brennweite befindet und dann durch die Nullstellung (11) hindurch dem Objektiv genähert wird. Die Spiegelverschiebungen von Stellung 9 über 10 und 11 nach 12 hin betragen der Reihe nach 0,3 mm, 0,3 mm und 0,4 mm. Zunächst fällt auf, daß die Quellpunkte außerhalb der Nullstellung auftreten, im Gegen-

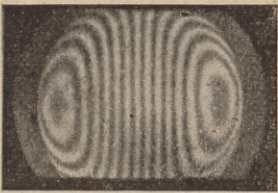


Fig. 9.

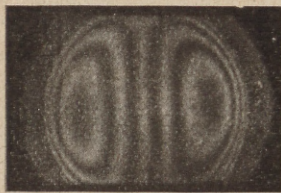


Fig. 10.

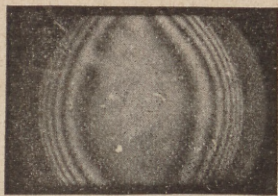
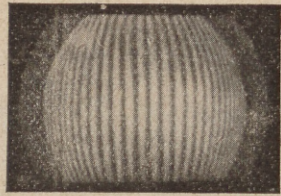


Fig. 11.

Fig. 12.
Sphärisch überkorrigiertes System.

satz zu den bisher betrachteten Bildern. Wir haben es also mit einem sphärisch überkorrigierten System zu tun. Ferner zeigen die Bilder 9 und 10 durch den geradlinigen fast äquidistanten Verlauf der Interferenzstreifen zwischen den Quellpunkten, daß die Innenzonen sehr gut korrigiert sind. Fig. 11 gibt durch die Breite des streifenfreien Teiles an, bis zu welcher Zone die Korrektur eine vollkommene ist. Schneidet man aus den Interferenzbildern einen Kreis mit dieser Breite als Durchmesser aus, so ist der Verlauf der Interferenzerscheinung in diesem Teile offenbar ein solcher, wie er für eine „ideale“ Linse zu erwarten ist.

Die Fig. 13—16 sind an einem photographischen Objektiv von 150 mm Brennweite aufgenommen. Sie werden der Reihe nach durchlaufen, wenn der Spiegel von einer bestimmten Stellung aus in Schritten von je 0,5 mm dem Objektiv genähert wird. Wir haben es hier mit typisch anderen Kurvenformen als den bisher be-

trachteten zu tun. Während die Fig. 2—12 nur Unter- oder Überkorrektur anzeigen, sind die Fig. 13—16 charakteristisch für optische Systeme, die für eine bestimmte Randzone sphärisch korrigiert sind, die also eine sphärische Aberrationskurve besitzen, deren Verlauf für die mittleren Zonen Unterkorrektur, für die Randzonen Überkorrektur anzeigt. Es müssen demnach die Interferenzkurven der Fig. 13—16 eine Kombination der vorhergehenden darstellen, was bei einem aufmerksamen Vergleich ohne weiteres zu sehen ist.

7. Die beschriebene Methode ist auch geeignet, Inhomogenitäten irgendwelcher Art in optischen Systemen sehr genau aufzuzeigen. Ganz

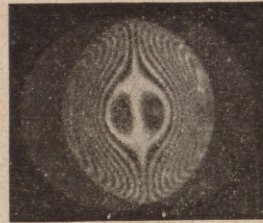


Fig. 13.

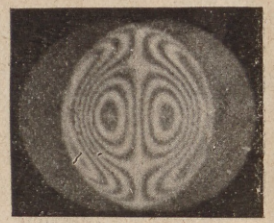


Fig. 14.

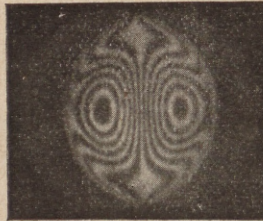


Fig. 15.

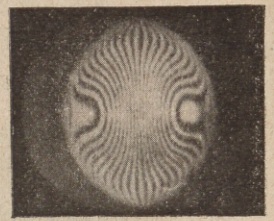


Fig. 16.

Mittelzonen überkorrigiert, Randzonen unterkorrigiert.

geringfügige Inhomogenitäten machen sich in den Interferenzbildern vorzüglich bemerkbar.

Zum Schluß möchten wir noch darauf hinweisen, daß sich die Methode, wie schon in der ursprünglichen Mitteilung angegeben ist, auch für die Untersuchung von Hohlspiegeln benutzen läßt.

Besprechungen.

Lenard, P., Über Äther und Uräther. Leipzig, S. Hirzel, 1921. gr. 8°. 56 S. und 4 Abbildungen.

Die Broschüre stellt die Ansammlung einer gleichbetiteltten Publikation dar, die 1920 im Jahrbuch für Radioaktivität und Elektronik erschienen war. Sie ist dem Bedürfnis des Verfassers entsprungen, unter Vermeidung der ihm nicht einleuchtend erscheinenden Konsequenzen der Relativitätstheorie eine physikalische Erklärung für die verschiedenen einander widersprechenden Ergebnisse der Ätherphysik zu finden. Einstein war bekanntlich durch diese Ergebnisse dazu veranlaßt worden, auf die Vorstellung eines substanzialen Äthers überhaupt zu verzichten, während Herr Lenard nun gerade den umgekehrten Weg einzuschlagen versucht: Er führt neben dem gewöhn-

⁷⁾ E. Bratke u. E. Waetzmann, Zeitschr. f. Physik 12, 253, 1922.

lichen Lichtäther noch einen zweiten, den „Uräther“ ein, über den die folgenden Annahmen gemacht werden:

„Wir stellen uns den *Uräther* überall im Raum vorhanden und in seiner Gesamtmasse als ruhend vor (wie man es bisher mit dem Äther zu tun versuchte); er ist das Medium, welches die Eigenschaften des elektromagnetischen Feldes bedingt, im besonderen auch das Medium, in welchem elektromagnetische Wellen mit Lichtgeschwindigkeit laufen, nachdem sie fertig erzeugt und von der emittierenden Materie genügend frei geworden sind. Der *Uräther* hat mit der Materie unmittelbar nichts zu tun.“

„Den *Äther* fassen wir dagegen als zur Materie gehörig auf (allerdings aber ebenso verschieden von ihr, wie das bisher schon gedacht wurde); jedes Atom hat — wie nach früherer Entwicklung oben bereits angegeben — seinen eigenen Äther, wenn auch nicht in unveränderlicher Menge, da Abgabe und Aufnahme von Äther seitens der Atome stattfinden kann. Anders Äther als der zu den Atomen der Materie bzw. den einzelnen Dynamiden oder Elektrizitätsquanten gehört und der mit solchen — oder von solchen in Gestalt elektromagnetischer Wellen abgeschossen selbständig — im *Uräther* unterwegs ist, gibt es nicht — außer eben den *Uräther*. Der zu einem bestimmten Atom gehörige Äther bildet dessen elektromagnetisches Kraftfeld, das man — wie oben und früher schon erläutert — etwa als Wirbelfeld (elektrische Kraftlinien) und Strömungslinien (magnetische Kraftlinien) des zum Atom gehörigen Äthers abbilden kann. Die elektrischen Kraftlinien (Wirbelfäden) — je nur eine in einer Dynamide des Atoms — sind in den strahlungsfreien Bahnen der Elektronen des Atoms kurzgeschlossen ungleich den elektrischen Kraftlinien großer ruhender Ladungen, die auch weite Umkreise machen. Das Magnetfeld (die Strömungslinien) der Dynamiden stellen wir uns gleich den Magnetkraftlinien großer Kreiströme bis in unendliche Fernen reichend vor, so aber, daß diese Linien bloß intermittierend von den zur Dynamide gehörigen Ätherteilen betätigt werden.“

„Während wir also den *Uräther* — soweit zu sehen — überall so gut wie gleichmäßig vorhanden anzunehmen haben, ist die räumliche Verteilung des Äthers sehr ungleichmäßig. Wo Anhäufungen von Materie sind, wird auch viel zugehöriger Äther sich finden, und in zunehmendem Abstand von solchen Anhäufungen, wie die Erdkugel eine ist, wird die zugehörige Äthermenge in der Raumeinheit abnehmen; im Himmelsraum, fern von materiellen Massen wird der zur Materie gehörige Äther nur spärlich vorhanden sein; es ist fast nur *Uräther* da. Der Äther in der Umgebung der Erdkugel wird, da er fast ganz nur zu deren eigenen Atomen gehört, fast ganz mit ihr sich bewegen, relativ zu ihr also ruhen, während der *Uräther* diejenige Relativbewegung zur Erdkugel hat, welche man — mit entgegengesetzter Richtung — auch als *Absolutbewegung* der letzteren bezeichnen kann. Der spärliche Äther im Himmelsraum hat die seiner Zugehörigkeit zu den verschiedenen Himmelskörpern entsprechende gemischte Bewegung. Außer diesem Äther ist im Himmelsraum auch der die Lichtquanten der Strahlungen der Himmelskörper ausmachende Äther vorhanden.“

Die Kardinalschwierigkeit der Ätherphysik (negativ ausgefallene Versuche zur Feststellung eines Einflusses der Erdbewegung auf die elektromagnetischen Erscheinungen einerseits, Konstanz der Licht-

geschwindigkeit andererseits) wird nun durch folgende weitere Hypothesen umgangen:

„Das Lichtquant selbst, der kohärente Ätherwellenzug von bestimmtem Energieinhalt, besteht in unserer Vorstellung aus so vielen voneinander gleichabstehenden elektrischen und zugehörigen magnetischen Kraftlinienringen, als halbe Wellen im ihm vorhanden sind, wobei je zwei benachbarte Kraftlinienringe von entgegengesetzter Richtung sind. (Hierzu Fig. 1.) Das ganze so beschriebene Gebilde, das Lichtquant, trägt seinen eigenen Äther, der seine Kraftlinienringe ausmacht, mit sich, während es mit Lichtgeschwindigkeit läuft. Es ist dies Äther, der ursprünglich zum emittierenden Atom gehörte, und der bei der Emission des Quants aus dem Atom entwichen ist, wobei er die sehr große Beschleunigung bis zur Lichtgeschwindigkeit erlitten hat. Wir betrachten später die hierbei vorausgesetzten Kräfte und verfolgen hier zunächst den Lauf des fertig emittierten Lichtquants. Wir nehmen an, daß das Lichtquant als Wellenzug im umgebenden Äther weiterläuft, daß es also *nicht absolut, sondern relativ zu diesem Äther* Lichtgeschwindigkeit besitzt. Dieser Äther ist nach dem bereits Entwickelten bei einem auf der Erde emittierten Lichtquant der Äther der Erdkugel, welcher als Ganzes relativ zu dieser ruht und gegen dessen überwiegende Menge der spurenweise vorhandene Äther anderer Gestirne verschwindet, ebenso wie der zum — etwa relativ zur Erde bewegten — Ursprungsatom des Lichtquants oder zu anderen bewegten Körpern der Umgebung gehörende Äther. Das irdische Lichtquant hat demnach Lichtgeschwindigkeit relativ zur Erde. Wir fassen dies als eine Beeinflussung der Lichtgeschwindigkeit von seiten des Äthers auf, in welchem das Lichtquant entstanden ist, und wir nehmen an, daß die Beeinflussung im weiteren Lauf des Lichtquants allmählich verschwindet, so daß die Geschwindigkeit allmählich in absolute Lichtgeschwindigkeit übergeht, d. i. in Lichtgeschwindigkeit gemessen relativ zum *Uräther*, in welchem das Lichtquant auch schließlich läuft, wenn es in den freien Himmelsraum gelangt.“

Kurz gesagt, wird die Sache daher so: In der näheren Umgebung der Lichtquelle soll die Lichtausbreitung nach einer Art modifizierten Ritzschen Theorie verlaufen, in großer Entfernung von der Lichtquelle hingegen nach den Gesetzen der Maxwell-Lorentzschen Theorie. Da nun die erstere Theorie den negativen Ausfall des Michelsonversuches erklärt, die letztere hingegen das Gesetz von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit erfüllt, so kann man natürlich durch eine geeignete Verquickung dieser Theorien zu einer Erklärung beider Erscheinungsguppen gelangen. Der Verfasser stellt diesen Ausweg als weit sachgemäßer der Einsteinschen Relativitätstheorie gegenüber, der er Wirklichkeitsfremdheit vorwirft.

Man darf aber bei der Beurteilung solcher „Erklärungen“ physikalischer Erscheinungen nicht übersehen, daß man durch Einführung einer genügenden Zahl von Hypothesen überhaupt alles erklären kann — die Wissenschaft wird sich dann schließlich für jene Erklärung entscheiden, die am einfachsten ist und mit der geringsten Zahl von unabhängigen Hypothesen auskommt. Nun ist die heutige theoretische Physik von einer befriedigenden Lösung des Problems der Vorgänge im Atominneren und bei der Lichtemission noch sehr weit entfernt (wir geben dem Verfasser darin vollkommen recht, wenn er sagt, daß

auf diesem Gebiete noch viel Neues und Unerwartetes verborgen unserer harret). Zwischen der Quantentheorie und den elektrodynamischen Theorien makroskopischer Felder klafft noch ein gähnender Abgrund, über den als eine luftige Seilbrücke provisorisch das Bohrsche Korrespondenzprinzip gespannt ist.

Solange es hier keine solide Brücke gibt, können wir kaum ahnen, wie die definitive Theorie der Atom- und Strahlungsvorgänge aussehen wird. Soweit es sich aber um die makroskopischen Phänomene handelt, scheint mir eines sicher: Die Einsteinsche Theorie ist zwar revolutionärer (und beleidigt darum den „gesunden Menschenverstand“ vieler Nichtmathematiker), hat aber dafür den Vorzug der Einheitlichkeit und Geschlossenheit. Der Ausweg Herrn Lenards führt hingegen allzuleicht in ein Hypothesengestrüpp und würde sich bei weiterer Verfolgung wohl in uferlose Spekulationen verlieren. *H. Thirring, Wien.*

Wien, W., Die Relativitätstheorie vom Standpunkte der Physik und Erkenntnislehre. Vortrag, gehalten im Verwaltungsgebäude der Firma Siemens & Halske in Siemensstadt bei Berlin am 18. März 1921. Leipzig, J. A. Barth, 1921. 36 S. und 3 Abbildungen.

In diesem Vortrag stellt sich der hervorragende Physiker die Aufgabe, in möglichst einfacher Weise darzustellen, „wie man zur Relativitätstheorie gelangt ist, welche Ziele sie verfolgt, was sie leistet und welcher Erkenntniswert ihr zuzuschreiben ist“. Er will dabei „eine objektive Darstellung der Theorie, des Für und Wider, geben, über die vielfach in wenig wissenschaftlicher Weise in der Öffentlichkeit verhandelt ist“, und möchte „allen, die sich mit ihr beschäftigen, empfehlen, sich nicht als Anhänger oder Gegner der Theorie auszubilden, sondern sie so zu betrachten, wie es allein der Wissenschaft angemessen ist, nämlich als einen Weg, Eigenschaften der Naturgesetze zu erkennen, der ebensohin richtig wie falsch sein kann. Die Entscheidung hierüber kann man nicht auf dogmatischem Wege erreichen, sondern muß sie den Ergebnissen der Erfahrung überlassen.“

Aus dem Inhalte mögen einige der markantesten Stellen hier Platz finden: Von der *speziellen* Relativitätslehre heißt es, „daß mit ihr mancher früher möglich erscheinende Ausblick verschlossen ist. Die Lichtgeschwindigkeit, mit der sich die elektromagnetischen Wellen im Raume fortpflanzen, ist der Zurückführung auf andere beobachtbare Größen endgültig entzogen. Der Äther, welcher als Träger der elektromagnetischen Wellen zu gelten hatte, erscheint ausgeschaltet. Es sollen sich abstrakte Größen, wie elektrische und magnetische Kräfte mit Lichtgeschwindigkeit im Raum fortbewegen. Es scheint mir sehr fraglich, ob hiermit das letzte Wort gesprochen wurde. Die Neigung, den Äther wieder einzuführen, ist durch die Theorie der Strahlung wieder wachgerufen. Ist aber einmal der Äther wieder da, so werden Zweifel, ob nicht doch eine Bewegung relativ zu ihm physikalische Bedeutung hat, nicht zum Verschwinden zu bringen sein.“

Bei den experimentellen Grundlagen der *allgemeinen* Relativitätstheorie wird erwähnt, daß „über die Rotverschiebung der Spektrallinien auf der Sonne noch heftiger Meinungsstreit herrscht. Während die amerikanischen Astronomen das Vorhandensein der Verschiebung leugnen, wird sie nun von zwei Deutschen, *Grebe* und *Bachem*, behauptet. Da indessen die Amerikaner unter weit günstigeren Bedingungen arbeiten, werden hier besonders erst die Beobachtungen abzuwarten sein. Es entspricht den Gepflogenheiten der deutschen Wissenschaft, an alle wissenschaftlichen Ergebnisse den Maßstab strengster Kritik anzulegen und ich muß es

daher als verführt bezeichnen, wenn schon häufig von einer endgültigen Bestätigung der allgemeinen Relativitätstheorie gesprochen wird.“

Von der *Kosmologie Einsteins* wird gesagt: „Man muß diese Betrachtungen mit großer Vorsicht aufnehmen. Alle Anwendungen der Naturgesetze auf das unendliche Weltall sind immer fragwürdig, und wenn es auch von Interesse ist, zu sehen, wie weit solche Anwendungen führen, so muß man sich doch klar darüber sein, daß man aus den sich ergebenden Schwierigkeiten keine bindenden Folgerungen ableiten kann.“

Bei der Besprechung der *Weylschen Erweiterung* der allgemeinen Relativitätstheorie wird in treffender Weise bemerkt: „Man muß sagen, daß diese Theorien schließlich darin bestehen, die in der Darstellung der Naturgesetze liegenden Schwierigkeiten auf die Geometrie abzuwälzen. Man muß wohl mit Sicherheit annehmen, daß durch eine genügend verwickelte Geometrie die Tatsachen der Wirklichkeit, wie sie auch sich durch die Beobachtungen ergeben mögen, dargestellt werden können. Es ist das eine Darstellung, bei der eben wieder die große in der bisherigen Geometrie liegende Einfachheit aufgegeben wird und die Frage, ob wir wirklich zu einem Aufgeben der einfachsten Grundlagen der Naturbetrachtung gezwungen sind, wird immer wieder mit Recht erhoben werden.“

Schließlich wird noch auf die *erkenntnistheoretische* Seite eingegangen. Dabei werden einige im Publikum verbreitete Irrtümer berichtigt. Z. B. ist trotz der von der allgemeinen Relativitätstheorie behaupteten logischen Gleichberechtigung des ptolemäischen und des kopernikanischen Standpunkts, selbst wenn dies zugegeben wird, das System des Kopernikus dadurch keineswegs hinfällig; denn es ist vermöge seiner größeren Einfachheit das für die Praxis einzig mögliche. Des weiteren wird die Unterstellung zurückgewiesen, als ob die sogenannte „relativistische Weltanschauung, die in Beziehung trete mit der von *Spengler* in seinem „Untergang des Abendlandes“ vertretenen Auffassung, mit der physikalischen Relativitätstheorie irgend etwas zu tun habe. . . . Die Relativität aller Urteile ist schon von *Protagoras* gelehrt worden, der schließlich bei dem echt sophistischen Standpunkt anlangte, daß man jeden Satz und ebensogut sein Gegenteil verfechten könne. Man müsse nur immer den geeigneten Standpunkt einnehmen. Ich weiß nicht, ob die Vertreter einer modernen relativistischen Anschauung soweit gehen wollen. Aber eins ist sicher, daß alle solche Gedankengänge der physikalischen Denkweise geradezu zuwiderlaufen. Die physikalischen Denker haben allmählich mit Aufwendung der größten Geistesstärke erreicht, daß der geozentrische und anthropomorphe Standpunkt verlassen wurde. Jetzt kann man es geradezu als die Grundlage des physikalischen Denkens bezeichnen, die subjektive Auffassung des Menschen auszuschalten und zu den unveränderlichen, von menschlicher Betrachtungsweise unabhängigen Naturgesetzen vorzudringen. . . . Wenn wir diese Erkenntnis aufgeben und wieder zur sophistischen Auffassung nur relativer Erkenntnis zurückkehren, so geben wir damit die Grundlage des physikalischen Denkens auf. Die Physiker müssen sich daher in erster Linie dagegen aussprechen, daß eine physikalische Relativitätstheorie, die möglicherweise gewisse Eigenschaften der Naturgesetze richtig darstellt, mißverständlich zu einer Relativität des Erkennens erweitert werden soll, die das ganze Gebäude physikalischer Naturerkenntnis und damit vor allem die Grundlagen der Relativitätstheorie selbst erschüttern würde.“

Wien schließt seine Betrachtungen damit, daß ihm nach alledem die Zeit für eine weite Verbreitung der Relativitätstheorie noch nicht gekommen zu sein scheint. „Weder ist die Theorie noch sind ihre Ergebnisse durch die Erfahrung endgültig bestätigt. Eine allgemeine Erörterung von allem Für und Wider die Relativitätstheorie verbietet sich dadurch, daß dazu ungemein mannigfache Fachkenntnisse gehören.“

Trotz der von vornherein sehr eng gesteckten Grenzen scheint mir Wien in diesem Vortrag jedenfalls das eine Ziel erreicht zu haben, einen Weg der ruhigen und sachlichen Kritik aufgezeigt zu haben. Es steht zu wünschen, daß ihm auf diesem Weg bald mehrere nachfolgen mögen, damit der unnötige Lärm von beiden Seiten verstumme, der am Ende keinem genützt, der Wissenschaft aber geschadet haben könnte.

Friedrich Kottler, Wien.

Neumann, E. R., Vorlesungen zur Einführung in die Relativitätstheorie. Jena, Gustav Fischer, 1922. VIII, 228 S. und 39 Abbildungen. 16 × 25 cm.

Dieses Buch des Marburger Mathematikers ist dem Vorwort zufolge aus Vorlesungen an der Universität Marburg entstanden und wendet sich daher an Studierende und Oberlehrer in erster Linie. Der Verfasser wünscht dabei die Mitte einzuhalten zwischen der übersehbar populären Literatur des Gebiets einerseits und der abstrakt mathematischen Darstellung von Weyl andererseits, die an den Leser recht hohe Anforderungen stellt und auch durch ihren ganzen Aufbau dem Bedürfnis des Anfängers wenig entspreche. Gegenüber den Büchern von Laue, Kopff und Pauli will der Verfasser die mathematische Theorie und ihre Entwicklung aus den physikalischen Grundlagen in den Vordergrund stellen. Das Buch ist C. Neumann gewidmet, „als dem Manne, der durch seine meisterhafte Analyse der Galilei-Newtonschen Theorie das Interesse für ein Problem neu belebt hat, das dann später einen Ausgangspunkt für die Relativitätstheorie gebildet hat“.

Im großen Ganzen schließt das Buch an die Originalartikel Einsteins an. Darüber hinausgehend findet sich bloß in §§ 4—5 des Abschnitts „Spezielle Relativitätstheorie“ ein sehr bemerkenswerter Versuch des Verfassers, die Einsteinsche Problemstellung einer neuen kritischen Analyse zu unterziehen: Nachdem auseinander gesetzt worden, daß an Stelle der Newtonschen universalen Zeit eine individuelle und vom Ort abhängige Zeit treten müsse, wird das Problem der Regulierung der Uhren in bezug auf gleiche Ganggeschwindigkeit und auf Synchronismus diskutiert. An Stelle der mehr dogmatischen Fassung in den Originalartikeln tritt hier eine Analyse, die zum Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit hinleitet. Der Verfasser betont, daß das Ergebnis des Michelsonschen Versuches sei, daß uns zunächst eine genaue Kenntnis der Gesetze der Lichtfortpflanzung fehle, nachdem uns die alten Theorien im Stiche gelassen hätten. Diese Unkenntnis wird beseitigt durch das Prinzip oder besser gesagt durch das „Postulat“ der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Der Verfasser wendet sich dabei gegen Laue, der in seinem Buch gesagt hat: „Um so besser kennen wir die Gesetze der Lichtfortpflanzung im Vakuum, ist doch durch den Michelsonschen Versuch mit einer bei sonstigen physikalischen Messungen kaum erreichten Genauigkeit festgestellt, daß sie, bezogen auf alle Systeme, nach allen Richtungen, gleichmäßig erfolgt“, und bemerkt hierzu: „Wir kennen eben nicht das Gesetz der Lichtfortpflanzung, sondern wir treffen darüber eine Festsetzung“. Von Laues Formulierung des Prinzips der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit

unterscheidet sich die des Verfassers auch durch ausdrückliche Hervorhebung des Zusatzes, daß die Lichtgeschwindigkeit konstant sei, „unabhängig vom Bewegungszustand der Lichtquelle“, was schon Einstein besonders betont hatte, Laue aber als selbstverständlich hinzustellen scheint, da die Fortpflanzung des Lichtes im Vakuum stets derselbe Vorgang sei, unabhängig von den Bewegungen der anderen Körper. Hierin scheint dem Verfasser ein Rückfall in die Theorie des substantiellen Fresnelschen Äthers zu liegen.

Interessant ist auch, was Neumann über die Auszeichnung der nach dem speziellen Relativitätsprinzip gleichberechtigten Lorentzsysteme vor anderen Systemen sagt. Da man dabei immer von einem Lorentzsystem ausgehen muß, um zu anderen gleichberechtigten Bezugssystemen mittels einer Lorentztransformation zu gelangen, „so behauptet Einstein wieder nur, daß es ein ausgezeichnetes Raumzeitsystem gibt, derart, daß die Naturgesetze ungeändert bleiben beim Übergang zu geradlinig gleichförmig gegen dieses eine Grundsystem bewegten Systemen . . . Aus diesen Überlegungen geht deutlich hervor, daß auch dieser Einsteinschen Theorie noch die Annahme eines bevorzugten Raumzeitsystems zugrunde liegt. . . Auch der Einsteinschen speziellen Relativitätstheorie liegt also die Vorstellung eines absoluten Raumes und einer absoluten Zeit zugrunde.“

Das Buch kann Studierenden zur Einführung in die Theorie empfohlen werden.

Friedrich Kottler, Wien.

Kopff, August, Grundzüge der Einsteinschen Relativitätstheorie. Zweite Auflage, Leipzig, S. Hirzel, 1923. VIII, 204 S. und 3 Abbild.

Nach weniger als zwei Jahren ist schon eine zweite Auflage dieser sehr lesbaren und dabei gründlichen Schrift erschienen. Sie ist gegenüber der ersten nur wenig verändert, da ja die Relativitätstheorie seitdem ihr Aussehen nicht geändert hat. Nur der Paragraph, welcher die Zusammenhänge der allgemeinen Relativitätstheorie mit der Riemannschen Geometrie behandelt, ist umgearbeitet.

Auf eine kleine Inkonzsequenz möchten wir aber aufmerksam machen. Die Schrift bringt unter Nr. 296 die Ungleichungen, welche die g_{ik} erfüllen müssen, damit die Zeitachse eine zeitartige, die anderen raumartige Richtungen haben. Nimmt man sie an, so sind dadurch die rotierenden Koordinatensysteme ausgeschlossen, wenigstens für Gebiete weit von der Drehungsachse, welche der Verfasser an anderer Stelle ausdrücklich als berechtigt anerkennt.

M. v. Laue, Berlin.

Wiener, O., Das Grundgesetz der Natur und die Erhaltung der absoluten Geschwindigkeiten im Äther. 38. Band der Abhandlungen der mathematisch-physikalischen Klasse der Sächsischen Akademie der Wissenschaften, Nr. IV. Leipzig, B. G. Teubner, 1921. 87 S. und 9 Abbildungen.

Zur Kennzeichnung des Zieles dieser Schrift sei einiges aus der „Einführung“ derselben angeführt:

Der Verfasser beabsichtigt ein Zurückgreifen auf die physikalischen Bestrebungen des 19. Jahrhunderts, „Vereinheitlichung der Grundvorstellungen und die grundsätzliche Beseitigung der Fernkräfte“. Das 20. Jahrhundert hat „die Kernfrage des 19. Jahrhunderts nach der physikalisch-anschaulichen Natur der Kräfteübermittlung“ (d. h. das Ätherproblem) „mit der Einsteinschen Relativitätstheorie vollständig verlassen und durch eine mehr logische ersetzt, die sich auf erkenntnistheoretische Grundlagen (Mach) stützt“.

Trotz der Vorzüge des Machschen Relativismus, der bloß die wechselseitigen Beziehungen des Beobachtbaren als Gegenstand der Forschung zulassen möchte, bezweifelt der Verfasser, ob eine einheitliche Weltanschauung auf Grund rein relativistischer Gedanken-gänge aufzubauen sei. „Die einfachsten Erfahrungen zwingen uns nämlich, eine Außenwelt anzunehmen . . . Nur diese ermöglicht nämlich die Ordnung unserer Empfindungsreihen. Den Außendingen haben wir daher eine von uns unabhängige Wirklichkeit zuzuschreiben mit ihnen eigentümlichen Eigenschaften . . . *Kurz, es ist an der Zeit, mit der Wirklichkeit der Außenwelt in der Physik Ernst zu machen.*“

„Man wird daher die Verwendung von solchen Begriffen verlangen müssen, die den natürlichen Vorgängen selbst zugeordnet sind, Vorgängen, die sich unabhängig von uns abspielen können. Solche Vorgänge sind, wie ich annehme, die Bewegungsvorgänge . . . Ich erkenne den Grundsatz an, daß nur Beobachtbares Gegenstand der physikalischen Betrachtung sein soll, bestreite aber, daß man nur von Relativbewegungen sprechen darf.“

„Die vorliegende Untersuchung geht aus von dem Gedanken der Übertragung der Fernkräfte durch einen zusammenhängenden Stoff, den Äther. Sie geht ferner aus von der Annahme, daß es nur eine Form von Energie gibt, nämlich der Bewegung, wobei man die Vorstellung eines besonderen elektrischen Stoffes entbehren und durch geeignete Bewegungsgebilde ersetzen kann . . . Der Raum ist stetig erfüllt mit einem beweglichen Stoff, die Geschwindigkeitsänderung jedes materiellen Punktes ist nur bedingt durch seine Eigengeschwindigkeit und den Bewegungszustand in seiner Umgebung (*Grundgesetz.*) . . . Die Aufgabe ist, die Beschleunigung jedes Teilchens zu finden, wenn die Geschwindigkeit und ihre Verteilung in der Umgebung gegeben ist.“

Friedrich Kottler, Wien.

Metallographische Mitteilungen.

Struktur der Eutektika. Wenn zwei Metalle miteinander weder Verbindungen noch Mischkristalle bilden, wenn die binären Legierungen also einfach ein mechanisches Gemenge der beiden Komponenten darstellen, so erfolgt die Erstarrung dieser Legierungen bekanntlich in folgender Weise: Ausgehend von der reinen Komponente A (siehe Fig. 1), sinkt die Temperatur des Beginnes der Erstarrung mit steigendem B-Gehalt etwa längs der Kurve *ac*. Aus allen Legierungen, deren Gehalt an B den des Punktes *c* nicht überschreitet, scheidet sich aus den Schmelzen zunächst die reine Komponente A aus. Umgekehrt wird auch der Schmelzpunkt der zweiten Komponente B durch Zusatz von A herabgesetzt. Die Temperaturen des Beginnes der Erstarrung liegen in diesem Konzentrationsintervall auf der Kurve *bc* und es scheidet sich aus den Schmelzen zunächst die reine Komponente B aus. Die Kurven *ac* und *bc* sind also *Sättigungskurven* der Schmelzen mit den Kristallen von A resp. von B. Im Punkte *c* schneiden sich nun diese beiden Kurven. Bei der Temperatur und der Zusammensetzung des Punktes *c* ist also die Schmelze zugleich an A und an B gesättigt, die sich also bei der Abkühlung gleichzeitig abscheiden müssen. Es sei erwähnt, daß *c* zugleich die Konzentration der Restschmelze (Mutterlauge) nach der Ausscheidung von A in den A-reichen und von B in den B-reichen Legierungen darstellt, so daß als Abschluß des Kristallisationsvorganges aller

Legierungen eine gleichzeitige Abscheidung von zwei Kristallarten stattfindet.

Dieser gleichzeitige Erstarrungsvorgang führt zur Entwicklung eigenartiger Strukturen, die als *eutektische* bezeichnet werden und in denen die beiden Komponenten sich in feiner wechselseitiger Vermengung befinden. Den Eigentümlichkeiten dieser eutektischen Strukturen ist eine eingehende Untersuchung von F. L. Brady gewidmet, der der diesjährigen Septemberversammlung des Institute of Metals vorgelegt worden ist.

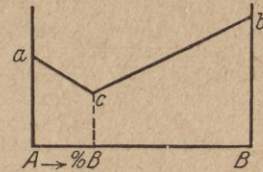


Fig. 1. Die Temperaturen des Beginnes der Erstarrung; mit steigendem B-Gehalt (längs *ac*), mit steigendem A-Gehalt (längs *bc*).

In Fig. 2 ist das Blei-Zinn-Eutektikum (mit 63,5 % Zinn) dargestellt. Man sieht, wie die feinen dunklen Bleipartikel in der anscheinend zusammenhängenden Masse des hellen Zinns verteilt sind. Was bei der Betrachtung dieser Struktur zunächst auffällt, ist, daß sie nicht gleichmäßig ist, sondern aus einer Reihe von Gebieten besteht, in deren Mitte sich die feinste Verteilung der Komponente findet, die allmählich gröber wird und am Rande von einem grobkörnigen Saum umgeben ist. Ein derartiges Gebiet, das man als ein *Korn* des Eutektikums bezeichnet, ist in

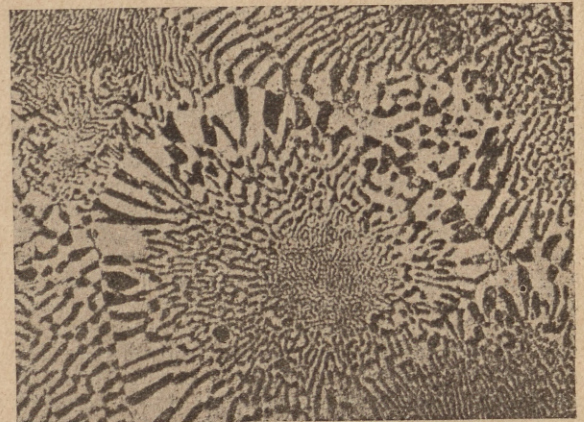


Fig. 2. Blei-Zinn-Eutektikum.

Fig. 2 deutlich zu sehen, ebenso wie auch Teile von anliegenden Körnern. Bei genauer Betrachtung sieht man, daß man zwischen zwei *Körnern* eine deutliche Grenzlinie verfolgen kann.

Diese Unterteilung des Eutektikums in mehr oder weniger scharf abgegrenzte *Körner* ist ein allgemeine Erscheinung. Eine Reihe von Beobachtungen beweist nun, daß in einem ganzen eutektischen *Korn* die Orientierung beider Bestandteile eine *einheitliche* ist:

1. Bei geeigneter Ätzung und Beleuchtung erhält man innerhalb des ganzen Kornes eine einheitliche Färbung jeder Komponente (dislozierte Reflexion), die auf eine einheitliche Orientierung und Gestalt der Ätzfiguren zurückzuführen ist.

2. In manchen eutektischen Strukturen ist die in der geringeren Menge vorhandene Komponente nicht lamellar angeordnet, sondern in Elementen mit einer charakteristischen kristallinen Begrenzung (auf der Schlifffebene z. B. Dreiecke o. dgl. m.). Innerhalb eines Kornes zeigen auch diese Elemente eine einheitliche Orientierung.

3. Bei der Erzeugung von Gleitflächen durch Deformation zeigen diese über zahlreiche Lamellen hindurch (innerhalb eines Kornes) eine parallele Anordnung.

4. Bei der Beobachtung von durchsichtigen eutektischen Präparaten im polarisierten Licht kann die einheitliche Auslöschung beider Komponenten innerhalb des Kornes festgestellt werden (beobachtet z. B. am Mikropegmatit, einem eutektischen Gemenge von Quarz und Orthoklas).

Die in der eutektischen Struktur wahrgenommenen Lamellen der Komponenten sind also nicht einzelne Kristallite, sondern ein eutektisches Korn ist *unigran*, es besteht aus einem einzigen Kristallit der einen Komponente, der von einem ebensolchen Kristallit der anderen Komponente *durchwachsen* ist.

Hieraus läßt sich ein wichtiger Schluß über die Kristallisation eines *Eutektikums* ziehen. Die beiden Komponenten kristallisieren nicht etwa intermittierend, sondern *nebeneinander*¹⁾, und zwar so, daß jede innerhalb des Kornes ein zusammenhängendes Kristallskelett bildet.

Sehr auffallend ist der in Fig. 2 sichtbare Dispersitätsunterschied innerhalb des einzelnen eutektischen Kornes. *Rosenhain* und *Tucker*²⁾ haben gezeigt, daß man aus den Schmelzen mit etwa 62,5 bis 63,5 rein eutektische Strukturen erhält, zunächst im Widerspruch mit der Theorie, die nur bei der Konzentration des eutektischen Punktes eine solche erwarten läßt. Ferner haben *Rosenhain* und *Tucker* festgestellt, daß der ganze Unterschied der Strukturen mit 62,5 und 63,5 % Zinn darin besteht, daß, während in der letzteren Legierung in den grobkörnigen Säumen des eutektischen Kornes, wie man sie in Fig. 2 sieht, das Zinn, in der ersteren in den Säumen das Blei vorherrscht. Trotz aller Bemühungen ist es bisher nicht gelungen, für die größeren Randräume und dafür, daß der Überschuß einer Komponente über die eutektische Konzentration sich in diesen Säumen ansammelt, eine befriedigende Erklärung zu finden. *Brady* weist darauf hin, daß diese Erscheinung vielleicht mit der Oberflächenspannung und ihrer Änderung während der Erstarrung zusammenhängt. Das Einzige, was sicher zu sein scheint, ist, daß in den Säumen das Ende der im Inneren der Körner beginnenden eutektischen Kristallisation stattfindet.

Die Erscheinungsformen des eutektischen Gefüges sind recht mannigfaltig; *Brady* unterscheidet lamellares, globulares, kristallförmiges usw. Eutektikum und weist darauf hin, daß die Unterschiede dieser Formen sich im Zusammenhang mit der Oberflächenspannung der Schmelzen der Metalle und mit der Entwicklung der Oberflächen im Eutektikum deuten lassen.

Rekristallisation und Diffusion. Es ist bekannt, daß in allen Metallen, die aus der Schmelze erstarrt und weder plastische Deformationen, noch Umwandlungen im festen Zustande erlitten haben, bei der Er-

hitzung keine Rekristallisation stattfindet. Aus den tiefen und außerordentlich weitgehenden Zusammenhängen zwischen der vorangegangenen Deformation und der darauf bei der Erhitzung eintretenden Diffusion wurde von vielen Seiten geschlossen, daß die Rekristallisation als ein Vorgang der Beseitigung des Zwangszustandes, der durch die Verarbeitung im Metall erzeugt war, zu betrachten ist. Daß auch eine Umwandlung in festem Zustande einen Zwangs- oder Spannungszustand hervorzurufen imstande ist und deshalb Rekristallisation zur Folge hat, ist vom Unterzeichneten betont worden.

Durch eine Arbeit über den Einfluß der Diffusion auf die Rekristallisation von *J. H. Andrew* und *R. Higgins*¹⁾ werden unsere tatsächlichen Kenntnisse und unsere Anschauungen über dieses Gebiet außerordentlich erweitert. Die Verfasser haben ein Messing mit 60 % Zn und 40 % Cu, das der sogenannten γ -Phase entspricht, in reines Kupfer vergossen und die Diffusion und Veränderung der Korngrößen in diesem Stück verfolgt. Es ist bekannt, daß aus Kupfer und γ -Messing bei Erhitzung auf hohe Temperaturen durch Diffusion ein Zwischenband von β -Messing, mit Zinkgehalten um etwa 52 % herum, entsteht, und daß das Zink überdies in die Kupferphase hineinwandert unter Bildung einer festen Lösung von Zink in Kupfer, des α -Mischkristalles. Dieser Diffusionsvorgang setzte sofort nach dem Vergießen, bereits bei der ersten Abkühlung ein. Bei wiederholter Erhitzung auf 800°—850° (im ganzen während 60 Stunden) nahm die bereits entstandene Zone der β -Kristalle schnell an Breite zu. Gleichzeitig wuchsen die gebildeten β -Kristalle sehr erheblich. Es fand in ihnen also *Rekristallisation* statt. Dieses ist allerdings weiter auch nicht verwunderlich, da die β -Kristalle ja unterhalb des Schmelzpunktes durch Neubildung einer Phase, die in diesem Falle einer Umwandlung analog ist, entstanden sind. Das beobachtete Kristallwachstum braucht also nicht eine direkte Folge der Diffusion zu sein.

Hiernach wurde das Versuchsstück während 12 Stunden auf 500° erhitzt. Nach dieser Erhitzung wurde die auffallende Beobachtung gemacht, daß die Größe der β -Kristalle bedeutend abgenommen hatte. Nach einer weiteren Erhitzung auf 550°—575° während 5 Tagen waren die Kristallite der β -Phase noch weiter zerteilt, und auch die Kristallite der kupferreichen α -Schicht hatten an der Grenze mit β eine ziemlich weitgehende Zerteilung erfahren. Gleichzeitig wurde festgestellt, daß Zink durch Destillation auch in entlegene Kupferteile gelangt und dort *Zwillingsbildung* verursacht hatte.

Alle diese drei beobachteten Tatsachen sind nur im Zusammenhang mit der Diffusion zu erklären, und wir müssen die allgemeine Tatsache feststellen, daß Diffusion, auch wenn sie nicht zur Bildung von neuen Phasen führt, Rekristallisation in Metallen hervorgerufen kann. Manche Widersprüche aus der älteren metallographischen Literatur werden damit verständlich. Im Gegensatz zu dem heute ziemlich allgemein angenommenen Standpunkt, daß gegossene Metalle nicht rekristallisieren können, ist früher oft das Gegenteil behauptet worden. Sofern nun diese Behauptungen sich auf Beobachtungen an Legierungen stützten, ist es sehr wahrscheinlich, daß in vielen Fällen eine unvollständige Einstellung des Gleichge-

¹⁾ Dieser Schluß ist, wie auch *Brady* erwähnt, bereits von *Vogel*, Z. anorg. Ch. 76, 425, 1912, gezogen worden.

²⁾ Phil. Trans. Roy. Soc. 1909, Vol. 209 A, S. 89.

¹⁾ Vortrag vor dem Institute of Metals bei der Herbstversammlung 1922.

wichts bei der Herstellung und eine sich später daran schließende Diffusion die wirklichen Ursachen der Rekristallisation waren.

Die Erklärung des Einflusses der Diffusion auf die Rekristallisation macht keine Schwierigkeiten. Durch das Hineinwandern der Zinkatome in das Kupfer-Raumgitter oder der Zink- und Kupferatome in das Raumgitter der β -Phase wird im Raumgitter aus geometrischen und anderen Gründen ein sehr erheblicher, rein mechanischer Zwang entwickelt, der zuweilen auch zu einer sichtbaren Deformation des Metalles führen kann. Genau, wie das Raumgitter sich bei der gewöhnlichen Rekristallisation dem durch Verarbeitung hervorgerufenen Zwange entzieht, entledigt es sich jetzt des durch Diffusion erzeugten Zwanges durch Umorientierungen, die teilweise durch Zwillingsbildung, teilweise durch Zerteilung der Kristallite vollzogen werden.

Wenn somit die neue experimentelle Tatsache, daß Diffusion im festen Zustande zur Änderung der Kristallitenstruktur, also zur Rekristallisation führen kann, sicher erwiesen ist, so entsteht jetzt die wichtige Aufgabe, die hier herrschenden Gesetzmäßigkeiten näher zu untersuchen. Die Verfasser kündigen weitere Arbeiten in dieser Richtung an.

Beeinflussung der Unterkühlung durch Deformation.

Bekanntlich findet in einem kohlenstoffhaltigen Eisen bei der Abkühlung der Übergang aus der flächenzentrierten γ -Form in die raumzentrierte Form des α -Eisens unter gleichzeitiger Ausscheidung beinahe des gesamten Kohlenstoffes in der Form des feinverteilten lamellaren Cementits statt. Mit dem gleichzeitig ausgeschiedenen α -Eisen, dem Ferrit, bildet dieser das Eutektoid, den sogenannten Perlit. Die Temperatur, bei der man während der Abkühlung eines Stahles die die Perlitbildung anzeigende Wärmeentwicklung (Rekalenz) beobachtet, bezeichnet man in der metallographischen Praxis als Ar 1. Diese Temperatur Ar 1 liegt nicht unwesentlich tiefer, als die Temperatur Ac 1, bei der während der Erhitzung umgekehrt die Wärmebindung eintritt, welche die Bildung des γ -Eisens mit Kohlenstoff in fester Lösung anzeigt, und zwar um 10° bis mehrere Hundert Grad, je nach den Arbeitsbedingungen und der Art des Materials. Da theoretisch beide Punkte Ar 1 und Ac 1 etwa bei 715° — 720° zusammenfallen müßten, so ist ihre Divergenz auf Verzögerungserscheinungen zurückzuführen, die zweierlei Charakter haben können. Wie jede Neubildung einer kristallinen Phase, so erfolgt auch die Bildung des α -Eisens resp. des Cementits bei der Abkühlung und des γ -Eisens bei der Erhitzung durch Kernbildung, indem an einzelnen Stellen Keime der neuen Phase entstehen, die dann weiter wachsen. Diese Art der Entstehung und des Wachstums begreift schon eine Verzögerung in sich, auf der die so oft beobachteten Unterkühlungen bei der Bildung von Kristallphasen beruhen. Eine Verzögerung bei der Entstehung von α -Eisen kann also darauf beruhen, daß die Keimbildung verzögert wird oder zunächst praktisch ganz ausbleibt. Wenn man die Beobachtungen bei fallender Temperatur anstellt, so wird man auf diese Weise die Ar 1 bei zu tiefer Temperatur wahrnehmen. Bei der Erhitzung spielt vermutlich die Verzögerung der Kernbildung wegen der bei der höheren Temperatur höheren molekularen Beweglichkeit nur eine geringere Rolle.

Außer der eben betrachteten Verzögerung infolge Ausbleibens der Keimbildung, die wir vielleicht als thermodynamische bezeichnen können, tritt bei den

Punkten Ar 1 und Ac 1 beim Eisen auch nach eingetretener Keimbildung eine kinetische Verzögerung auf, die erstens darauf beruht, daß die linearen Wachstumsgeschwindigkeiten der entstehenden Kristalle nur begrenzt sind, und zweitens darauf, daß zwischen den verschwindenden und den sich bildenden Phasen Konzentrationsunterschiede bestehen, die durch Diffusion beseitigt werden müssen. Diese erfolgt aber in kristallinen Metallen verhältnismäßig langsam. — Es ist klar, daß diese kinetischen Verzögerungen in noch stärkerem Maße, als die thermodynamischen von der Abkühlungsgeschwindigkeit abhängen müssen.

Whiteley (Vortrag vor der Versammlung des Iron and Steel Institut, September 1922; Engineering Sept. 29, 1922, S. 416) beschreibt nun einige Versuche, die den Einfluß der mechanischen Deformation auf die Unterkühlung bei Ar 1 behandeln. Zunächst weist er darauf hin, daß beim Stahl eine Unterkühlung im thermodynamischen Sinne als sicher nachgewiesen gelten kann. Ein Stück weichen Stahles wurde, nach einer Erhitzung auf 900° , eine halbe Stunde bei 695° gehalten. Die mikroskopische Untersuchung zeigte, daß die Bildung des Perlits noch so gut wie gar nicht eingesetzt hatte.

Würden nun Stücke dieses Stahles bei 695° gehämmert oder gebogen, so zeigte es sich, daß danach die Perlitbildung nach weiterer Erhitzung während 10 Minuten auf 695° und Abschreckung so gut wie vollständig abgeschlossen war, während sie in den Vergleichsstücken, die keine Deformation erlitten hatten, noch kaum begonnen hatte. Die Deformation vermag also die Unterkühlung aufzuheben.

So interessant diese Feststellung ist, es muß bemerkt werden, daß sie im Prinzip durchaus nicht neu ist. Es ist seit längerer Zeit bekannt, daß Spezialstähle, die sogenannten Übergangscharakter haben — das heißt bei gewöhnlicher Abkühlung leicht Übergänge der austenitischen unterkühlten γ -Struktur in die martensitische α -Struktur zeigen — wenn sie im austenitischen Zustand hergestellt sind, durch Deformationen leicht gehärtet werden und in den martensitischen Zustand übergehen.

Der Vorgang, auf dem der Einfluß der Deformation auf die Unterkühlung beruht, ist noch durchaus unklar. Der Hinweis von Whiteley, daß unterkühlte Flüssigkeiten durch Erschütterung auch zur Kristallisation gebracht werden können, hat zunächst nur die Bedeutung einer Analogie.

G. Masing.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

Birds and mammals of the Stikine river region of northern British Columbia and southern Alaska. (H. S. Swarth, Univ. California Public. in Zool. Vol. 24, Nr. 2, 125—314, Tab. 8, Textfig. A—Z, AA—HH. Berkeley, Calif., 1922.) In jener Gegend Nordamerikas, wo sich das südliche Alaska in schmalen Streifen vor Britisch Columbia schiebt, ist die Fauna des Küstengebietes deutlich verschieden von der des Inneren, wobei die Grenzlinie der beiden Faunen nahe der Küste verläuft. Um die faunistischen Verhältnisse jener Gegend zu studieren und gleichzeitig Material aus dem Inneren von Britisch Columbia zu sammeln, sandte das Museum of Vertebrate Zoology der Universität Californien im Jahre 1919 eine Expedition nach dem Stikinefluß aus. Diese begann ihre

Tätigkeit im Binnenlande beim Einfluß des Telegraph Creeks, wo der Stikine schiffbar wird, und sammelte und beobachtete in einer Anzahl von Stationen fluß-abwärts bis nach Sergief Island, in der Mündung des Flusses. Das gesammelte Material bestand aus 534 Säugetieren, 638 Vögeln, 24 Gelegen (meist mit Nestern) und 70 Amphibien.

Der Stikinefluß entspringt im nördlichen British Columbia aus Quellwässern, die auch den Liard, einen Nebenfluß des Mackenzie, speisen und weiterhin Flüssen ihren Ursprung geben, die sich in den Yukon ergießen. So bilden jene Höhenzüge eine dreifache Wasserscheide, zwischen Flußsystemen, die sich dem arktischen Meere zuwenden, solchen, die ihre Wasser dem Beringsmeer zuführen und endlich von Flüssen, wie der Taku, Stikine und Skeena, die parallel zueinander und die Gebirgskette der Küste durchbrechend dem Stillen Ocean zu eilen. Nachdem der Stikine eine Strecke weit ungefähr dem 58. Breitengrad entlang nach Westen geflossen ist, wendet er sich dort, wo er den Telegraph Creek aufnimmt, nach Südwesten und dann nach Süden. An der Grenze von Alaska biegt er scharf nach Westen um und erreicht das Meer nahe der Stadt Wrangell in dem Inselgewirr des Alexanderarchipels.

Der Sitkadistrikt des südlichen Alaskas ist charakterisiert durch außerordentliche Feuchtigkeit und relativ ausgeglichene Temperaturen. Durchschnittlich 200 Regentage im Jahre liefern Niederschlagsmengen, die in manchen Gegenden 100 Zoll = 254 cm und mehr erreichen. Die Vegetation ist dichter Coniferenwald, mit Unterholz von nahezu tropischer Fülle. Dieser Distrikt umfaßt die vorgelagerten Inseln und einen schmalen Küstenstreifen, der sich bis zum Kamme des der Küste entlangreichenden Gebirgszuges erstreckt. Nach dem Inneren von diesem Bergzuge aus hat die Landschaft einen ganz anderen Charakter. Der Regenfall ist so gering, daß an manchen Stellen das Kulturland künstlich bewässert werden muß, die Temperaturschwankungen sind groß, Nadelwald ist zwar auch genügend vorhanden, doch überwiegt der Laubwald. Dementsprechend ist auch die Fauna der beiden Distrikte verschieden. Das Flußtal des Stikine, das älter ist als die Bergkette und sich bei deren Erhebung einen Weg genagt hat, bildet einen verbindenden Paß für die beiden verschiedenen Faunen. Die diluviale Vereisung hatte das Tierleben aus den beiden Distrikten verdrängt und als es wich, eröffnete sich für die Tiere ein Rückweg von Süden, später auch von Norden beiderseits der Bergkette zu einer Zeit, als die Berge noch vereist waren. Da diese auch heute noch beträchtliche Eismassen in Form von Gletschern tragen, kann die Zeit nicht so lange zurückliegen, in der das ganze Flußtal noch eisblockiert war. Als dann das Tal und seine Paralleltäler passierbar wurden, benutzten die Arten der beiden Gebirgsseiten diese Wanderstraßen, soweit es die übrigen Umstände erlaubten.

Die Zugvögel der beiden Gebirgsseiten wandern entlang der Kette und überschreiten sie in der Regel nicht. Ob manche Vögel des Küstendistriktes, die nach dem Binnendistrikt vorgedrungen sind, bei ihren Wanderungen dem Flußlauf folgen, ist noch nicht klar.

Bei Hochwasser bringt der Fluß eine Menge von Driften mit, die als Verbreitungsmittel für kleine Säuger dienen; so erklärt es sich, daß viel mehr Formen des Binnendistriktes nach dem Küstendistrikt vorgedrungen sind, als umgekehrt.

Während der Fluß also als Verbindungsweg zwischen den beiden Distrikten wirkt, bildet er nirgends eine Schranke für nord-südliche Ausbreitung.

Denn nirgends ist durch ausgedehnteres Vorland ein trennender Streifen, breiter als der Fluß, zwischen Norden und Süden geschoben und im Winter gestattet die Eisdecke, die fast bis zur Küste reicht, ein Wandern von einem Flußufer auf das andere.

Es scheint, als stimmt die allgemeine Auffassung, der Sitkadistrikt gehöre zur kanadischen Faunenzone, nicht: Die Fauna unterhalb der arktisch-alpinen Region in den Bergen macht vielmehr einen hudsonischen Eindruck, mit starker Beimengung, wenigstens im Süden, von kanadischen Elementen. Im Binnendistrikt ist die zonale Zugehörigkeit der Fauna schwieriger festzustellen. Im allgemeinen erweckt die Tierwelt einen südlichen Eindruck, entsprechend dem Umstande, daß die Gesamtwärmemenge im Verlaufe des Jahres größer ist, als an der Küste. So zeigt es sich, daß die Vögel, die an der Küste in Seehöhe vorkommen, nach dem Binnendistrikt hin immer mehr in die Berge steigen, eine Erscheinung, die ihre Parallele in der Pflanzenwelt findet. Bei Vögeln sowohl wie bei Säugern sind es manchmal verschiedene Subspecies, die an der Küste und im Binnenlande diese Verschiedenheit in der Höhenlage ihres Vorkommens zeigen. Die Beobachtungen der Expedition im Verein mit den Ergebnissen anderer Forscher scheinen darauf hinzudeuten, daß im nördlichen British Columbia kanadische Elemente gegenüber den hudsonischen vorherrschen. Die Region des Binnenlandes, die an die Bergkette anstößt und sich, noch unentschieden, wie weit, nach dem Inneren hin erstreckt, scheint als eigener Faunendistrikt betrachtet werden zu müssen, für den der Name Cassiar district geprägt wird.

Den allgemeinen Betrachtungen folgt eine Liste der Säugetiere und Vögel, die ausgedehnte Einzelnotizen systematischer, faunistischer und biologischer Natur enthält.

C. Zimmer.

Vom Biber an der Elbe. (A. Mertens, Berlin, Gebrüder Bornträger, 1922, 61 S.) Der Verfasser, der als Direktor des Museums für Natur- und Heimatkunde und als Geschäftsführer des Sächsischen Provinzial-Komitees für Naturdenkmalpflege in Magdeburg reichlich Gelegenheit hatte, dem seltenen Tiere zu begegnen, auch zahlreiche erschlagene Stücke zu untersuchen, gibt hier eine Zusammenstellung seiner mehr als dreißigjährigen Beobachtungen über den Biber und seine Lebensweise.

Das Verbreitungsgebiet des Bibers erstreckt sich von oberhalb Wittenbergs bis unterhalb Magdeburgs. Bevorzugt werden die stillen, waldumrauschten Altwässer. Dort leben etwa 200 Stück des seltenen Tieres, das jetzt als erstklassiges Naturdenkmal anzusehen ist und daher geschützt wird.

Der Elbbiber ist das größte Nagetier der alten Welt. Seine Körperlänge erreicht etwa 1 m, wozu noch 25 bis 30 cm für den Schwanz kommen. Als höchstes Gewicht sind 33 kg festgestellt. Der Körper ist plump, der Bauch hängt tief herab und berührt fast den Boden; der Schwanz schleift auf der Erde nach. Der oben flache Kopf verschmälert sich zu einer rundlichen Schnauze. Die kurzen Beine, von denen die hinteren viel kräftiger und auch länger sind als die vorderen, haben 5 Zehen mit breiten Krallen, die an den Hinterfüßen fast nagelartig sind. Die zweite Hinterzehe trägt eine doppelte Kralle. Die Hinterfüße besitzen eine feste Schwimmhaut. Der Schwanz ist im vorderen Teile noch walzenförmig, dann aber von oben nach unten flach zusammengedrückt und länglich eiförmig. Die kleinen Ohren sind auf der Innenseite der Muscheln behaart, die Augen besitzen eine Nickhaut,

die Nase kann durch Muskeln in den Flügeln geschlossen werden: alles Zeichen für die Fähigkeit des Tieres, im Wasser längere Zeit auszuhalten. Es ist beobachtet, daß es in ruhiger Lage gegen $\frac{1}{4}$ Stunde unter Wasser liegen kann; beim Schwimmen unter Wasser muß es jedoch nach etwa 2 Minuten an die Oberfläche kommen, um zu atmen. Ermöglicht wird dies durch die großen Lungen und starke Erweiterungen der Aorta und der großen Hohlvene, die den Blutdruck regeln. Das Gebiß ist ein echtes Nagetiergebiß mit mächtigen, scharfschneidigen Nagezähnen. Der Pelz ist sehr dicht, von brauner Farbe; der Schwanz ist in seinem unteren Teile nackt, schuppig. Eigentümlich sind die bei beiden Geschlechtern vorkommenden Geißsäcke und Öldrüsen, die in eine kloakenartige Vertiefung am Ende des Körpers zugleich mit den Geschlechtswerkzeugen ausmünden. Das Gesicht ist nur schwach, das Gehör und der Geruch besser entwickelt.

Die Nahrung besteht nur in Pflanzenkost: Baumrinde, Wurzeln von Seerosen, Schilf, sowie, besonders im Sommer, aus saftigen Kräutern, selbst zartem Gras; niemals aber werden Fische gefressen. Um die Baumrinde zu erhalten, werden selbst starke Bäume vom Biber gefällt, indem die Stämme sanduhrartig ange schnitten werden und dann umstürzen. Dünnere Stämmchen und Zweige werden glatt in schräger Richtung abgeschnitten. In den letzten Jahren haben die Tiere auch Zucker- und Futterrüben angenommen.

Die Wohnung des Bibers ist ein unterirdischer Erdbau im hohen Ufer, der weite Röhren und einen Kessel enthält. Ebenfalls erst in letzter Zeit werden auch „Burgen“ angelegt, die meist dicht am Ufer, einmal auch im freien Wasser stehen und eine trockene Wohnkammer enthalten. Sie werden aus zurechtgeschnittenen Holzstücken errichtet und mit Schilf und Schlamm gedichtet. Aus demselben Stoffe baut der Biber auch Dämme durch das Wasser, um dessen Stand zu erhöhen, damit er darin schwimmen kann. Landburgen sind seltener und dienen zum Schutze gegen Sicht.

Die Vermehrung des Bibers ist nur gering; meist werden 2—4, selten einmal 5 Junge geworfen.

Den Schluß der Arbeit bilden die Maßnahmen, die diesem Schutze dienen. Betont wird, daß es eine Ehrenpflicht des deutschen Volkes ist, das seltene Tier, trotz mancher Schäden, die es durch das Schneiden von Holz und durch seine Wühlarbeit anrichtet, für die Zukunft zu erhalten. *Autoreferat.*

Gab es schon vor Helmholtz einen Augenspiegel? (*H. Erggelet*, Zf. f. ophth. Opt. 1923, 11, 1—9, mit 1 Tfl. in Lichtdr.) Ein Hamburger Nervenarzt, Dr. J. Dräseke, stieß in seinem Berufe auf die Spur eines vor ihm völlig verborgenen Erfinders *Erich Dahl-fues*. Unter seinen Anverwandten bestand der Glaube, er habe 1844, also sieben Jahre vor *Helmholtz*, einen Augenspiegel erfunden. Bereits *J. Dräseke* ging diesen Angaben nach und berichtete darüber am 6. XI. 21 auf der Bremer Tagung von Nervenärzten. Dabei konnte er einen wichtigen Brief des Erfinders vom 5. V. 1844 in treuer Wiedergabe vorlegen. Andere Einzelheiten wurden von Herrn *Focke*, einem bewährten Kenner der Bremer Stadtgeschichte, am 11. XII. 21 in den Bremer Nachrichten niedergelegt, und wir sind dadurch über den Entwicklungsgang und das spätere Leben des Mechanicus und Opticus *Johann Erich Dahl-*

fues (* 1799, † 1862) einigermaßen unterrichtet; eingehende Angaben über das in Frage stehende Gerät ließen sich aber nicht mehr zusammentragen. Der Verfasser des vorliegenden Aufsatzes gibt die vorhandenen Berichte vollständig oder im Auszug wieder — der wichtigste Teil des Briefes findet sich auf der Tafel — und hat sich auch selber bemüht, durch weitere Anfragen in Bremen einzelne Angaben aufzuklären oder zu vervollständigen. Seine besondere Leistung aber besteht in einer mit größter Sorgfalt und eingehender Sachkenntnis durchgeführten Wertung aller vorausgehenden Angaben. Danach lehnt er die Vermutung, jenes Gerät sei ein Augenspiegel gewesen, aus Gründen ab, die sowohl in bestimmten Mitteilungen des Erfinders und in der Zeichnung liegen, als auch aus dem Fehlen gewisser Angaben und namentlich dem einer späteren Verwahrung seiner Erfinderschaft entnommen werden können. Er deutet vielmehr die Zeichnung und die gleichzeitigen Berichte von der Aufnahme des Geräts durch die Bremer Augenärzte auf eine Einrichtung zur Erleichterung entoptischer Beobachtungen. Damit weist er *E. Dahl-fues* eine recht ansehnliche Stellung in der Geschichte der physiologischen Optik zu, indem seine Zeichnung der Hauptquelle für entoptische Beobachtungen, dem entsprechenden Büchlein *J. B. Listings*, um ein Jahr vorausging.

Über den Grad der Genauigkeit von Messungen an stereoskopischen Röntgenbildern nach der Methode von Hasselwander. (*Fr. Bechert*, Anat. Anz. 1923, 56, 305—338, 10+ [1. II.]) Um sich ganz im allgemeinen auf dem Gebiete der Raumbildmessung an Strahlenhalbbildern zurechtzufinden, sei der Leser auf die Besprechung der Trendelenburgschen Schrift (diese Zf. 1917, 5, 732—4 v. 7. XII.) verwiesen. Zieht er nun gar diese Schrift selber und die darin angeführten, z. T. bis in die eigentliche Blütezeit der Stereoskopie zurückreichenden Quellenschriften zu Rate, so wird er einen deutlichen Einblick in die hier vorliegende Aufgabe erhalten. Auch der Verfasser gibt auf den Seiten 308 bis etwa 316 eine entsprechende Darstellung, um die Schwierigkeiten hervorzuheben, die dem Neuling in der Raumbildmessung selbst und in der eigentlichen Anlage des Auges entgegenzutreten können. Wie der Titel sagt, ist der Hauptzweck der vorliegenden Arbeit eine Genauigkeitsprüfung des von *A. Hasselwander* vorgeschlagenen und im Felde geprüften Geräts, das jetzt von *Stiefenhofer* in München gebaut wird. Der Verfasser wendet sich gelegentlich gegen die von *W. Trendelenburg* vertretenen Ansichten. Seine Messungen wurden an dem Kantenwerk eines Würfels und ferner an einem Kindesschädel vorgenommen; dabei verglich er 1. die Mittelwerte (aus je zehn Ablesungen), wie sie am Raumbild oder durch mechanische Messungen am Gegenstande selbst erhalten wurden, 2. die Unterschiede dieser Mittel voneinander und 3. die Schwankungen innerhalb jeder Zehnergruppe. Die Sorgfalt, die der Verfasser auf diese Feststellungen verwandt hat, wird durch ein Ergebnis belohnt, das ihn im Hinblick auf die Genauigkeit wohl befriedigt und weit unter den von *R. Martin* an anthropologischen Messungen zugelassenen Fehlern bleibt.

Wenn der Verfasser zum Schluß die Hoffnung ausspricht, daß in Zukunft Anatomie, Anthropologie und Physiologie aus Raumbildmessungen Vorteil ziehen werden, so kann man sich ihm nur anschließen.

Moritz von Rohr.