

Proteinstudien.¹⁾

Von

S. P. L. Sørensen.

(Aus dem Carlsberg Laboratorium, Kopenhagen.)

(Der Redaktion zugegangen am 25. Mai 1918.)

Die starke Entwicklung der Kolloidchemie während des letzten Jahrzehntes ist nicht ohne großen Einfluß auf das Studium der Proteinstoffe geblieben und in einzelnen Gebieten hat sie uns viele bisher schwer verständliche Erscheinungen erklärt oder uns doch wenigstens auf die Spur einer Erklärung gebracht. In anderen Gebieten der Proteinforschung dagegen ist der Einfluß der Kolloidchemie nach meinem Dafürhalten kein glücklicher, vielmehr aber ein direkt hemmender gewesen; so z. B. wo es sich um das Verständnis solcher chemischen oder physikalisch-chemischen Erscheinungen handelt, in welchen die Proteinlösungen sich mit den wahren Lösungen näher als mit den Suspensionskolloiden verwandt zeigen, und das wird gewöhnlich da überall der Fall sein, wo solche Eigenschaften oder Umsetzungen auftreten, in welchen die Art des Stoffes der dispersen Phase eine Rolle spielt. Es ist nämlich so, daß die moderne Kolloidchemie auf die chemische Beschaffenheit der dispersen Phase außerordentlich wenig Rücksicht nimmt, was sicherlich in der Entwicklungsgeschichte der Kolloidchemie seinen Grund hat.

In seinen klassischen, für die Kolloidchemie grundlegenden Arbeiten betont Thomas Graham²⁾ den Unterschied zwischen kolloiden und krystallinen Stoffen stark. «I may be allowed» schreibt Graham in seiner Übersicht am Ende der zitierten

¹⁾ Wird gleichzeitig in englischer Sprache in den Comptes-Rendus des travaux du Laboratoire de Carlsberg, Bd. 12, S. 1 (1915) veröffentlicht.

²⁾ Philos. Trans. Royal Soc. London, Bd. 151, S. 183 (1861).

Abhandlung «to advert again to the radical distinction assumed in this paper to exist between colloids and crystalloids in their intimate molecular constitution. Every physical and chemical property is characteristically modified in each class. They appear like different worlds of matter, and give occasion to a corresponding division of chemical science. The distinction between these kinds of matter is that subsisting between the material of a mineral and the material of an organized mass». ¹⁾ Graham war aber doch darüber im Klaren, daß diese Trennung (zwischen kolloiden und krystallinen Stoffen) vielleicht nicht eine so absolute war, wie er es in diesem Zitat ausgesprochen hatte; er führt in derselben Abhandlung als Ausnahmen der Regel an, daß Eis beim Schmelzpunkte und in der Nähe desselben einen kolloiden Charakter besitzt, während die aus einem Proteinstoff bestehenden sogenannten Blutkrystalle (Hämoglobin) krystallinischer Gestalt sind. «Can any facts more strikingly illustrate the maxim that in nature there are no abrupt transitions, and that distinctions of class are never absolute», ²⁾ mit diesen Worten schließt Graham diesen Abschnitt seiner großen Arbeit, und nach und nach wurde die Grenzscheide zwischen krystallinen und kolloiden Stoffen mehr und mehr verwischt, je nachdem es gelang einerseits mehr und mehr Stoffe in kolloidem Zustande darzustellen, und andererseits so ausgesprochene Kolloidstoffe wie z. B. die eigentlichen Albumine zum Krystallisieren zu bringen. Es ist indessen erst der jüngsten Zeit vorbehalten, mit ihrer verbesserten, zum Teil neu erschaffenen Methodik die Darstellung kolloider Lösungen in solcher Mannigfaltigkeit und von beinahe aller Art Stoffen zu ermöglichen, sodaß jetzt P. P. von Weimarn ³⁾ mit vollem Recht von «dem kolloiden Zustand als allgemeine Eigenschaft der Materie» sprechen konnte.

Es ist von diesem historischen Gesichtspunkte aus betrachtet leicht verständlich, daß die Kolloidchemie nach und

¹⁾ loc. cit., S. 220.

²⁾ loc. cit., S. 223.

³⁾ Journ. d. russ. chem. Ges., Febr. 1906, zitiert nach P. P. von Weimarn, Grundzüge der Dispersoidchemie (Dresden 1911), S. 6.

nach dazu geführt worden ist, sich vorzüglich mit dem kolloiden Zustand des Stoffes und nicht mit dem kolloiden Stoff an sich zu beschäftigen. Die Kolloidchemie ist, wie Wo. Ostwald sagt, «nicht die Lehre von den kolloiden Stoffen, sondern vielmehr die Lehre vom kolloiden Zustand der Stoffe». ¹⁾

Da nun ferner viele der wichtigsten kolloidchemischen Untersuchungen typische Suspensionskolloide zum Gegenstand haben, und die Art des Stoffes eben für diese Klasse von Kolloiden gewöhnlich von untergeordneter Bedeutung ist, so ist es erklärlich, daß die Zusammensetzung und der chemische Charakter des kolloiden Stoffes nach und nach beinahe völlig in den Hintergrund getreten ist. «So mannigfaltig und merkwürdig der Einfluß der fällenden Ionen ist», schreibt H. Freundlich ²⁾ bei der Erwähnung der fällenden Wirkung der Elektrolyten, Kolloiden, besonders den Suspensionskolloiden, gegenüber, «so gering ist der der suspendierten Substanz. Man erhält praktisch dieselbe Folge der Fällungswerte, mag man mit einer Suspension von groben Quarzteilchen, mit einer Mastixemulsion, mit kolloiden Lösungen von Platin, Arsentrisulfid oder Berlinerblau arbeiten».

Es ist indessen große Vorsicht geboten, wenn man aus Resultaten, die durch das Studium ausgesprochener Suspensionskolloide gewonnen sind, Schlüsse über kolloide Stoffe überhaupt, somit auch über die typischen Emulsionskolloide ziehen will. Eine solche summarische Behandlung von ganz verschiedenartigen Stoffen ist nur dann berechtigt, wenn von solchen Eigenschaften oder Umsetzungen die Rede ist, die nur vom physikalischen Zustand des betreffenden Körpers und nicht auch von dessen chemischer Beschaffenheit abhängen. Es sind dann auch die Erklärungen derartiger Erscheinungen, welche der Proteinforschung durch die Resultate der Kolloidchemie in hohem Maße erleichtert worden sind. Wenn auf der anderen Seite die Kolloidchemie es versucht, sämtliche oder auch nur die wesentlichsten Eigenschaften einer Proteinlösung

¹⁾ Wo. Ostwald, Grundriß der Kolloidchemie (Dresden 1909), S. 44.

²⁾ H. Freundlich, Kapillarchemie und Physiologie (Dresden und Leipzig 1914), S. 20.

auf kapillarchemischem Weg zu erklären, — um einen von Freundlich vorgeschlagenen Namen zu gebrauchen, welcher den Bereich der modernen Kolloidchemie zutreffend bezeichnet —, dann bringt sie, meine ich, der Proteinforschung mehr Schaden als Nutzen. Man kann auch nicht umhin zu bemerken, daß die bedeutendsten Arbeiten von späteren Jahren die Protein-
stoffe betreffend — ich nenne hier nur die bahnbrechenden Arbeiten von Wo. Pauli und seinen Mitarbeitern — außer kolloidchemischen auch noch allgemein chemische und physikalisch-chemische Gesichtspunkte zur Deutung der erhaltenen Resultate mit heranziehen.

Es ist hierin nichts Besonderes, wenn man die vielen Punkte in Betracht zieht, in welchen die Suspensionskolloide den groben Suspensionen ähnlich sind, während die meisten Proteinlösungen und andere emulsoide Lösungen in vielen Beziehungen den echten Lösungen näher stehen. Der Dispersitätsgrad, welcher für den talentvollen Organisator der modernen Kolloidchemie, Wo. Ostwald, eine alles überragende Rolle spielt bei nahezu allen kolloidchemischen Prozessen, ist meiner Meinung nach nicht imstande, den großen Unterschied unter Suspensions- und Emulsionskolloiden an allen Punkten zutreffend zu erklären. Ein Goldsol z. B. mag in seiner dispersen Phase Partikeln von ultramikroskopischer oder von amikroskopischer Größenordnung enthalten, ohne daß dadurch seine ausgeprägten Suspensionseigenschaften Einbuße leiden, während eine Albuminlösung immer Emulsionscharakter besitzt und diesen erst dann verliert, wenn das Albumin z. B. durch eine Wärmedenaturierung in einen ganz neuen Stoff umgewandelt wird, welcher in vielen Richtungen den Charakter eines Suspensionskolloids besitzt. Auch nicht die oft recht hypothetische Annahme, daß die disperse Phase der suspensoiden Systeme fest und dagegen die der emulsoiden flüssig sein sollte, scheint mir dazu geeignet, den genannten Unterschied zu erklären. Solche wässerigen kolloiden Lösungen von Öl, wie z. B. diejenigen, die K. Beck ¹⁾ oder G. S. Walpole ²⁾ untersucht haben, besitzen

¹⁾ Zeitschr. f. physik. Chem., Bd. 58, S. 409 (1907).

²⁾ Journal of Physiology, Bd. 47 (18. oct. 1913); Biochemical Journal, Bd. 8, S. 170 (1914).

einen vollständigen Suspensionscharakter, und niemand wird doch wohl eine feste disperse Phase darin annehmen.

Viel besser gereimt will es mir scheinen, den Unterschied zwischen Suspensions- und Emulsionskolloiden auf einen verschiedenen Grad von Reaktionsfähigkeit der dispersen Phase dem Dispersionsmittel gegenüber zurückzuführen.¹⁾

Die typischen Suspensionskolloide reagieren — mag die disperse Phase fest oder flüssig sein — hauptsächlich nur kapillarchemisch mit dem Dispersionsmittel und dadurch sind die wichtigsten Eigenschaften des Systems (z. B. elektrischer Ladungsunterschied zwischen der dispersen Phase und dem Dispersionsmittel; Adsorptionsverhältnisse usw.) gegeben. Ein typisches Emulsionskolloid, z. B. Albumin, reagiert ebenfalls kapillarchemisch mit dem Dispersionsmittel, hier ist aber diese Wirkung von mehr oder weniger untergeordneter Bedeutung, indem Emulsionskolloid und Dispersionsmittel auch rein chemisch reagieren, was mit unserer jetzigen Auffassung der in echten Lösungen obwaltenden Verhältnisse völlig im Einklang steht. Es ist sehr möglich, daß der Dispersitätsgrad des Emulsionskolloids in gewissem Grade dafür maßgebend ist, welche der hier genannten zwei Funktionen die vorherrschende, und deshalb die den Charakter des Systems bestimmende, sein wird. Ein emulsoides System großen Dispersitätsgrades wird wahrscheinlich überwiegend durch die Reaktion der dispersen Phase mit dem Dispersionsmittel charakterisiert sein, somit sich den echten Lösungen stark nähern, während es zu erwarten steht, daß die kapillarchemischen Verhältnisse bei emulsoiden Systemen von geringem Dispersitätsgrad die Hauptrolle spielen werden.

Man wird ersehen, daß diese Auffassung von den echten Lösungen einerseits durch die Emulsionskolloide hindurch zu den Suspensionskolloiden andererseits einen ganz allmählichen

¹⁾ Ähnliche Anschauungen finden sich mehr oder weniger deutlich ausgesprochen an vielen Stellen der Literatur, siehe z. B. G. Ciamician, Zeitschr. f. physik. Chem., Bd. 69, S. 100 (1909); Fil. Bottazzi, Kolloidchemische Beihefte, Bd. 3, 164 (1912); R. Höber, Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe, vierte Aufl. (Leipzig und Berlin 1914), S. 276 und 305.

Übergang zuläßt, ja sogar verlangt. Um Mißverständnissen vorzubeugen, soll es ausdrücklich betont werden, daß die Namen Suspensions- und Emulsionskolloide hier und im folgenden gebraucht werden in der oben entwickelten Bedeutung, welche im großen und ganzen mit der landläufigen Bedeutung dieser Namen zusammenfällt, nur mit dem Unterschied, daß mit dem Namen nichts darüber ausgesprochen wird, ob die disperse Phase fest oder flüssig ist.

Die wichtigsten Verschiedenheiten zwischen typisch suspensoiden und typisch emulsoiden Systemen werden somit nach meiner Auffassung, welche sich in vielen Beziehungen nahe an frühere von A. A. Noyes¹⁾ geäußerte Anschauungen schließt, die folgenden sein:

Suspensioide Systeme besitzen eine innere Reibung (Viscosität), welche von der des reinen Dispersionsmittels nur wenig verschieden ist.

Das System zeigt gewöhnlich zwischen der dispersen Phase und dem Dispersionsmittel einen deutlichen elektrischen Ladungsunterschied. Es werden nur relativ kleine Elektrolytkonzentrationen verlangt, um Koagulation hervorzurufen, und dieselbe ist meist irreversibel.

Emulsoide Systeme zeigen große innere Reibung und große Fähigkeit, Schaum zu bilden. Das System besitzt gewöhnlich keinen ausgesprochenen elektrischen Ladungsunterschied zwischen der dispersen Phase und dem Dispersionsmittel. Im allgemeinen sind große Elektrolytkonzentrationen notwendig, um eine Koagulation zu bewirken, und diese ist meist reversibel.

Übergangssysteme zeigen natürlich dazwischenliegende Eigenschaften.

Es liegt nicht in meiner Absicht, mit diesen wenigen und kurzen Bemerkungen eine eingehende Besprechung der modernen Kolloidchemie im ganzen zu geben und noch weniger für kolloide Lösungen ein neues Klassifizierungsprinzip auszusprechen; ich habe nur darüber Rechenschaft ablegen wollen, welche die Anschauungen gewesen sind, die für mich als Leitstern gedient

¹⁾ Journ. Americ. Chem. Soc., Bd. 27, S. 85 (1905).

haben, als ich die Resultate zu erklären suchte, welche eine im Laufe der letzten 5 Jahre ausgeführte umfassende Untersuchung eines typischen Emulsionskolloids, des Albumines der Hühnereier, gegeben hat. Zwar bietet die Kolloidchemie in der Gestalt, welche ihr energischer Führer Wo. Ostwald ihr gegeben hat, der Proteinforschung ein mit vielem Talent organisiertes System dar, die exakte, experimentelle Forschung hat es aber nicht vermocht, mit der systematischen Bearbeitung Schritt und Tritt zu halten, und der Wert des Inhaltes entspricht deshalb nicht immer der Vollkommenheit des Systems. So bin ich mit Ostwald uneinig, wenn er zu wiederholtem Male in der noch nicht abgeschlossenen zweiten Ausgabe des «Grundriß der Kolloidchemie» gegen eine Parallelisierung der Verhältnisse kolloider und echter Lösungen warnt. Was Albuminlösungen und gewiß auch was viele andere typische emulsoide Lösungen betrifft, ist ein solcher Vergleich der Eigenschaften der kolloiden Lösungen und derjenigen einer echten Lösung für das Verständnis des Charakters der kolloiden Lösung vom größten Belang. Ja ich meine sogar, daß man noch einen Schritt weiter gehen darf und sagen, daß auch das Studium echter Lösungen von den durch eine genaue Untersuchung wohl definierter Proteinlösungen gewonnenen Resultaten viel Nutzen ziehen kann, indem der kolloide Charakter solcher Lösungen die Anwendung von Untersuchungsmethoden erlaubt, welche sich nur in Ausnahmefällen und unter besonderen Umständen echten Lösungen gegenüber gebrauchen lassen — ich denke hier besonders an die Benutzung halbdurchlässiger Häute.

Bei den hier erwähnten, in den folgenden Abhandlungen ins Einzelne beschriebenen, Untersuchungen über Eieralbuminlösungen bin ich deshalb bemüht gewesen, die Sache sowohl von einem kolloidchemischen, als auch von einem physikalisch-chemischen und von einem rein chemischen Gesichtspunkt aus zu betrachten.

In vielen Beziehungen ist meine Betrachtungsweise der in den Proteinlösungen obwaltenden Verhältnisse zusammenfallend mit derjenigen von Wq. Pauli, dessen umfassende und außerordentlich wichtige, während der letzten Jahre publizierte,

Untersuchungen über die Proteinstoffe mit den unsrigen zum Teil gleichlaufend sind. Während indessen Pauli und seine Mitarbeiter ihre Untersuchungen über eine größere Zahl von Stoffen ausgedehnt haben, so habe ich es für zweckdienlicher gehalten, die Untersuchung vorläufig auf einen einzelnen Stoff, das Hühnereialbumin, zu beschränken. Es ist dann andererseits möglich geworden, diese übrigens noch nicht abgeschlossene Untersuchung derart zu vertiefen, daß die erhaltenen Resultate als auf einer breiten und sicheren experimentellen Grundlage fußende betrachtet werden dürfen.

Wenn der Plan dieser Arbeiten in der eben skizzierten Weise entworfen worden ist, so ist dafür die Betrachtung maßgebend gewesen, daß eine Untersuchung eines einzelnen, aber wohl definierten Proteinstoffes, welche sich auf möglichst genauen quantitativen chemischen und physikalisch-chemischen Messungen gründete, von Bedeutung sein würde nicht nur für die Proteinchemie an sich, sondern auch für das Verständnis der Verhältnisse der typischen Emulsionskolloide im ganzen.

Die Konzentration eines gelösten Stoffes bezeichnet man in chemischen Arbeiten gewöhnlich durch das Gewicht oder durch die Zahl von Grammäquivalenten des betreffenden Stoffes, welche in einem gegebenen Volumen der Lösung vorhanden sind. Diese bequemlichkeitshalber gewählte Ausdrucksweise ist sehr wohl zu gebrauchen, solange es sich um solche geringen Konzentrationen handelt, bei welchen das Volumen des gelösten Stoffes im Vergleich zu dem des Lösungsmittels verschwindend ist. Sobald aber dieses nicht mehr zutrifft, dann wird es häufig zweckdienlich sein, die Konzentration des Stoffes in anderer Weise zu definieren, so z. B. durch das Gewicht des Stoffes, welches in der Gewichtseinheit entweder der Lösung oder des Lösungsmittels vorhanden ist. Es ist ein Leichtes, unter den Arbeiten der späteren Jahre Beispiele zu finden, welche die Vorteile einer solchen Ausdrucksweise zeigen. Hier soll nur auf die bekannten Untersuchungen von Morse, Frazer

und Dunbar¹⁾ über die Abhängigkeit des osmotischen Druckes von der Konzentration der Rohrzuckerlösungen und auf Kendall's²⁾ Behandlung der Frage über die Anwendung des Verdünnungsgesetzes an starken Lösungen schwacher Elektrolyte verwiesen sein. Diese Arbeiten zeigen in packender Weise, wie notwendig es ist, auf das Volumen des gelösten Stoffes Rücksicht zu nehmen, falls man die gleichen Gesetze für schwache wie für starke Lösungen benutzen will.

Der eben erwähnte Sachverhalt ist von noch größerer Bedeutung, wenn die Rede ist von Stoffen, welche in gelöstem — dissoziiertem oder undissoziiertem — Zustand sich mit einem Teil des Lösungsmittels verbinden, und zwar weil dadurch das Verhältnis der Menge des gelösten Stoffes zum Lösungsmittel verschoben wird. Was die uns hier besonders interessierenden wässerigen Lösungen betrifft, so kann es nach den Untersuchungen der jüngsten Zeit kaum in Zweifel gezogen werden, daß viele Stoffe, sowohl nichtdissoziierte, wie z. B. Rohrzucker, als dissoziierte, z. B. die Ionen der gewöhnlichen Säuren, Basen und Salze, sich in wässriger Lösung mit größeren oder kleineren Mengen von Wasser verbinden. Einen vorzüglichen Überblick über die zur Beleuchtung dieser Frage angestellten Versuche hat Edward W. Washburn³⁾ vor einigen Jahren gegeben, und neuere Untersuchungen haben eine weitere Bestätigung der Annahme gebracht, nach welcher in wässerigen Lösungen häufig eine bisweilen sehr weitgehende Hydratation stattfindet.

In solchen emulsoiden Lösungen wie denjenigen, von denen in den folgenden Abhandlungen die Rede sein wird, findet sich nun der disperse Stoff, in unserem Fall das Eieralbumin, in hydratisiertem Zustand, indem die disperse Phase aus Eieralbumin in mehr oder weniger loser Verbindung mit größeren oder kleineren Mengen des Dispersionsmittels steht.

¹⁾ H. N. Morse and J. C. W. Frazer, *Americ. Chem. Journ.*, Bd. 34, S. 1 (1905) und H. N. Morse, J. C. W. Frazer and P. B. Dunbar, *Ibid.*, Bd. 38, S. 175 (1907).

²⁾ J. Kendall, *Journ. Americ. Chem. Soc.*, Bd. 36, S. 1069 (1914).

³⁾ *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik*, Bd. 5, S. 493 (1908) und Bd. 6, S. 69 (1908).

Wir haben deshalb auf den Rauminhalt der beiden Phasen Rücksicht nehmen müssen, und da unsere Versuche zeigen, daß die Zusammensetzung der dispersen Phase, welche im folgenden der Kürze halber oft schlechtweg Eihydrat oder Proteinhidrat genannt wird, vom Salzgehalt des Dispersionsmittels und von der Wasserstoffionenkonzentration desselben abhängt, so haben wir es zweckdienlich gefunden, bei den Angaben der Konzentrationen folgendes Verfahren einzuschlagen:

Es sei z. B. durch die Analyse einer ammoniumsulfathaltigen Lösung von Eieralbumin gegeben, daß 100 g der Lösung p g Proteinstickstoff und a g Ammoniakstickstoff enthalten, und es sei x des weiteren der Faktor, womit der Proteinstickstoff zu multiplizieren ist, um das Gewicht des wasserhaltigen, aber ammoniumsulfatfreien Eihydrats zu erhalten, während y denjenigen Faktor bezeichne, welcher durch Multiplikation des Proteinstickstoffs die am Eihydrat gebundene Menge Ammoniumsulfat liefert. Da nun weiter der Ammoniakstickstoff durch Multiplikation mit 4,7163 das Gewicht der äquivalenten Menge Ammoniumsulfat gibt, so werden 100 g der betreffenden Lösung enthalten:

$$\begin{array}{l} p \cdot (x + y) \quad \text{Gramm Eihydrat (disperse Phase)} \\ (4,7163 \cdot a \div p \cdot y) \quad \text{Ammoniumsulfat} \\ \text{und } (100 \div p \cdot x \div 4,7163 \cdot a) \quad \text{Wasser} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} p \cdot (x + y) \\ (4,7163 \cdot a \div p \cdot y) \\ \text{und } (100 \div p \cdot x \div 4,7163 \cdot a) \end{array}} \right\} \text{Dispersionsmittel.}$$

Die Ammoniumsulfatkonzentration, S , des Dispersionsmittels geben wir gewöhnlich durch das Gewicht des Ammoniumsulfats pr. 100 g Wasser an, und haben demnach

$$S = \frac{100 (4,7163 \cdot a \div p \cdot y)}{100 \div p \cdot x \div 4,7163 \cdot a}$$

Unter der Eihydratkonzentration, E , verstehen wir die Anzahl Milligrammäquivalente Proteinstickstoff pr. 100 g Wasser im Dispersionsmittel, also

$$E = \frac{100 \cdot p}{0,01401 (100 \div p \cdot x \div 4,7163 \cdot a)}$$

Bei solchen Gelegenheiten, wo es erwünscht ist, die Eihydratkonzentration im Verhältnis zum Volumen des Dispersionsmittels anzugeben, bedeutet somit E die Anzahl Milligrammäquivalente Proteinstickstoff in demjenigen Rauminhalt,

V_s , des Dispersionsmittels, welcher 100 g Wasser und S g Ammoniumsulfat enthält. Bezeichnet d_s das spezifische Gewicht einer solchen Ammoniumsulfatlösung, dann wird

$$V_s = \frac{100 + S}{d_s}$$

und die Eihydratkonzentration, auf die Volumeneinheit des Dispersionsmittels gerechnet — eine z. B. bei Messungen des osmotischen Drucks zweckentsprechende Ausdrucksweise — wird deshalb

$$\frac{E}{V_s}$$

In die obenangeführten Ausdrücke gehen die zwei unbekanntes und nicht leicht zu bestimmenden Größen, die Faktoren x und y ein. Eine der Hauptaufgaben unserer Untersuchungen ist es gewesen, die Variation dieser beiden Größen mit derjenigen der Zusammensetzung des Dispersionsmittels zu bestimmen, und wenn es auch nicht gelungen ist, auf allen Punkten die Schwierigkeiten, welche von einer solchen Untersuchung dargeboten werden, zu überwinden, so glaube ich doch sagen zu dürfen, daß die annähernden Werte von x und y , welche wir aus unseren Versuchsergebnissen haben berechnen können, eine wirklich quantitative Behandlung des Gleichgewichtsverhältnisses der beiden Phasen der Lösung ermöglichen (siehe übrigens Abhandlung I, C und Abhandlung V).

Hiermit in genauem Zusammenhang steht eine Reihe von Fragen das Auskrystallisieren des Eieralbumins bei Zusatz hinlänglich großer Mengen von Ammoniumsulfat betreffend. Man kann hier nach der Zusammensetzung des auskrystallisierten Niederschlags, nach seinem Gehalt an Wasser, an Ammoniumsulfat, an überschüssiger Schwefelsäure oder an überschüssigem Ammoniak fragen. Weiter kann man nach dem Charakter des Krystallisationsprozesses an sich, und nach der Art und dem Umfang der Veränderungen fragen, welche vor und während der Krystallisation in der Zusammensetzung der dispersen Phase vor sich gehen. Auch nach den Gleichgewichtsverhältnissen zwischen dem auskrystallisierten Nieder-

schlag einerseits und nach der Mutterlauge andererseits, nach der Abhängigkeit dieses Gleichgewichtes von den vorhandenen Umständen — Temperatur-, Salz- und Wasserstoffionenkonzentration —, nach der Geschwindigkeit, mit welcher der Zustand des Gleichgewichtes sich einstellt, kann man fragen, und endlich danach, inwieweit die gefundenen Gleichgewichtsverhältnisse mit der Gibbsschen Phasenregel übereinstimmen. Auch zur Beantwortung der hier gestellten Fragen haben wir es versucht, durch die in den folgenden Abhandlungen beschriebenen Untersuchungen einen Beitrag zu liefern, und es will uns scheinen, als ob die erhaltenen Resultate in nicht unwesentlichen Punkten für das Verständnis der erwähnten Verhältnisse von Bedeutung sein werden.

Es würde zu weit führen, schon hier in dieser kurzen Einleitung eine nur einigermaßen ausführliche Besprechung des Verfahrens und des Resultats dieser Untersuchungen zu geben; indem ich der Einzelheiten bezüglich auf die betreffenden Abhandlungen verweise, muß ich mich hier mit einer summarischen Übersicht des Inhalts begnügen.

Abhandlung I gibt eine Beschreibung von der Darstellungsmethode des Versuchsmaterials und von den Reinheitsproben und den Kontrolluntersuchungen, welche wir für notwendig erachtet haben, um die Brauchbarkeit des benutzten Verfahrens darzutun. Außerdem werden die angewandten analytischen Methoden nebst den angehörigen Kontrollbestimmungen beschrieben.

Abhandlung II behandelt die Frage über das Vermögen des Albumins, Säure oder Base zu binden, und zwar besonders das Bindungsvermögen der Schwefelsäure gegenüber bei verschiedenen Ammoniumsulfatkonzentrationen.

Abhandlung III erwähnt die Auskrystallisation des Eieralbumins bei Zusatz von Ammoniumsulfat und gibt einen Beitrag zur Beleuchtung sowohl vom Krystallisationsprozeß an sich als auch von der Frage nach der Zusammensetzung der ausgeschiedenen Krystalle.

Abhandlung IV behandelt das Gleichgewicht zwischen dem auskrystallisierten Albumin und der umgebenden Mutterlauge.

In Abhandlung V wird die Frage vom osmotischen Druck der Eieralbuminlösungen und von dessen Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Lösung behandelt. Hiermit in genauem Zusammenhang steht die Frage nach der Variation der früher genannten Faktoren x und y (siehe S. 10) mit der Zusammensetzung des Dispersionsmittels und nach dem Gleichgewichtszustande im ganzen zwischen der dispersen Phase und dem Dispersionsmittel; auch diesen Fragen wird in Abhandlung V näher getreten.

In einigen danach folgenden Abhandlungen hoffen wir dann später die Resultate noch nicht abgeschlossener Versuche über das spezifische Gewicht, die Viscosität und die Wärmedenaturierung solcher ammoniumsulfathaltigen Eieralbuminlösungen wie der obenerwähnten mitteilen zu können. Ebenfalls haben wir schon vor längerer Zeit eine Reihe orientierender Versuche mit anderen Salzen als dem Ammoniumsulfat ausgeführt, besonders Krystallisationsversuche mit anderen Sulfaten und osmotische Messungen an ammoniumchloridhaltigen Eieralbuminlösungen, dagegen haben wir noch nicht mit anderen Proteinstoffen als dem Hühnereialbumin gearbeitet.

Die oben aufgeführte Einteilung unseres Versuchsmaterials ist lediglich ein Werk der Zweckmäßigkeit und zwar deshalb, weil ich gefunden habe, daß diese Teilung einen guten Überblick über das vorliegende Material gibt; dagegen sagt die Einteilung nichts darüber, in welcher Reihenfolge die Untersuchungen ausgeführt worden sind.

Es wird in den Abhandlungen des öfteren auf die vorhergehenden oder nachfolgenden derselben verwiesen werden, indem die eine Untersuchungsreihe in die andere hineingreift und Resultate davon benutzt. Ja es ist sogar noch möglich, daß fortgesetzte im Augenblicke laufende Untersuchungen später verlangen werden, daß einige der Zahlengrößen, welche jetzt veröffentlicht werden, später umgerechnet werden müssen. Wenn ich trotzdem mich doch schon jetzt für eine Veröffentlichung entschlossen habe, dann hat dieser Entschluß seine Ursache in dem Umstand, daß das zur Verfügung stehende Material einen solchen Umfang erreicht hat, daß eine Bearbei-

tung für notwendig erachtet werden mußte, nicht am wenigsten, um ins Klare darüber zu kommen, auf welche Punkte fortgesetzte, supplerende Untersuchungen erwünscht sein mochten.

Die hier erwähnten Untersuchungen sind im großen und ganzen von Frl. Margrethe Höyrup und mir geplant und ausgeführt worden. Bei einer Reihe von Spezialuntersuchungen haben uns indessen S. Palitzsch und Frl. Jenny Hempel vorzügliche Hilfe geleistet, indem sie beinahe sämtliche elektrometrischen Wasserstoffionenmessungen ausgeführt haben. Dasselbe gilt von den Herren J. A. Christiansen, dem wir im wesentlichen die endgültige Ausformung der osmometrischen Meßmethode verdanken, und S. Goldschmidt, welcher die meisten Messungen des osmotischen Druckes ausgeführt hat.

Es muß mir erlaubt sein, auch an dieser Stelle diesen meinen Mitarbeitern meinen besten Dank abzustatten für die Sorgfalt und die Tüchtigkeit, mit welcher jeder auf seinem Gebiet zur Ausführung dieser oft recht mühsamen Untersuchungen beigetragen hat.

November 1915.
